

**Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

# DIPLOMOVÁ PRÁCE

# **Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Magisterský studijní program:

strojírenská technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

## **TECHNICKÉ ZAJIŠTĚNÍ STABILITY PROCESU MONTÁŽNÍCH ŠROUBOVÝCH SPOJŮ**

### **TECHNICAL SOLUTIONS ENSURING STABILITY OF BOLTED JOINT ASSEMBLY PROCESSES**

**KOM - 1027**

***David Lhoták***

Vedoucí práce: Ing. Jan Frinta, CSc.

Konzultant: Ing. Jan Babák, ŠKODA AUTO a.s., Mladá Boleslav

Počet stran: 81

Počet příloh: 4

Počet obrázků: 52

Počet modelů

nebo jiných příloh: -

27.5.2005

## **TECHNICKÉ ZAJIŠTĚNÍ STABILITY PROCESU MONTÁŽNÍCH ŠROUBOVÝCH SPOJŮ**

### *ANOTACE:*

V této diplomové práci jsou uvedeny základní teoretické informace o šroubech a šroubových spojích, dále příklady pracovních operací s utahováním šroubových spojů ve firmě Škoda a popis používaného základního utahovacího nářadí. Zpracován je popis kontrolních postupů a možnosti ověření správnosti utažení šroubových spojů.

V další části je vypracován návrh optimalizace šroubových operací na montáži vozu Škoda Octavia pro zabezpečení kvality výrobků požadované zákazníky.

## **TECHNICAL SOLUTIONS ENSURING STABILITY OF BOLTED JOINT ASSEMBLY PROCESSES**

### *ANNOTATION:*

The diploma thesis presents theoretical information on bolts and bolted joints and it gives examples of bolted joint tightening operations at Škoda car assembly lines including descriptions of basic tightening tools. Further the thesis describes bolted joints checking procedures and possibilities of tightening verification methods.

The second part presents an optimization proposal for the bolted joint operations at the Škoda Octavia assembly line ensuring product quality required by the customers.

Klíčová slova: ŠROUBOVÉ SPOJENÍ, UTAHOVACÍ MOMENT, UTAHOVAČKY

Zpracovatel: TU v Liberci, KOM

Dokončeno: 2005

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 81

Počet příloh: 4

Počet obrázků: 52

Počet tabulek: 22

Počet diagramů: 4

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci, 27.5.2005

.....

## **SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

A5	označení typové řady nové Škody Octavie	
AC	Atlac Copco (firma vyrábějící utahovačky)	
AD15 - 18	označení postupu montáže s řízeným točivým momentem (dvojmístné číslo udává stupeň kvality)	
AKU	viz: AKU utahovačka	
AKU utahovačka	utahovačka napájená akumulátorovým článkem	
AW10 - 12	označení postupu montáže s řízeným úhlem otáčení (dvojmístné číslo udává stupeň kvality)	
DGD	Gardner- Denver (firma vyrábějící utahovačky)	
DP	diplovová práce	
EC	elektronické řízení	
EC utahovačka	elektronicky řízená utahovačka	
ECV	oddělení Škoda Auto - controlling	
KKV	kontrolní karta vozu	
M13	označení výrobní haly montáže nové Škody Octavie	
MTM	(Methods Time Measurement) metoda pohybových studií s předem určenými časy	
op.	operace	
PNEU	viz: PNEU utahovačka	
PNEU utahovačka	utahovačka s pneumatickým pohonem	
ŠO	Škoda Octavia	
UAS	Universelles Analysier System - stupeň metody MTM	
VCT	oddělení Škoda Auto - výstavba	
VI	oddělení Škoda Auto – průmyslové inženýrství	
VW	zkratka koncernu Volkswagen	
ZG	oddělení Škoda Auto – pracovní lékařství	
$c$	konstanta tuhosti	[N/mm]
$E$	modul pružnosti v tahu	[MPa]
$F_s$	smykové zatížení	[N]
$F_{sv}$	svěrná síla	[N]
$F_t$	tahové zatížení	[N]
$G$	modulu pružnosti ve smyku	[MPa]
$J_p$	kvadratickým polárním moment	[mm <sup>4</sup> ]
$M_k$	kroucí moment	[Nm]
$M_u$	utahovací moment	[Nm]
$N$	plán výroby	[vozů/směnu]
$T$	čas směny	[min]
$T_I$	čas práce	[min]
$t_{c203}$	zákonné přestávky na jídlo a oddech	[min]
$T_E$	čas technickoorganizačních ztrát	[min]
$V_t$	výrobní takt	[min/vůz]
$\varepsilon$	poměrnému prodloužení	[ - ]
$\Theta$	zkrut	[ - ]
$\sigma$	napětí	[MPa]
$\varphi$	úhel kroucení	[°]

## **OBSAH:**

1. <u>ÚVOD</u>	7
2. <u>Úvod do problematiky šroubových spojů</u>	8
2.1. Šrouby, šroubové a závitové spoje	8
Vlastnosti šroubových spojů	8
Konstrukce šroubových spojů	10
Mechanické vlastnosti spoje při namáhání	11
Mechanické vlastnosti šroubů	12
2.2. Silové poměry u předepjatého šroubového spoje se spojovacími šrouby	13
Druhy zatížení šroubových spojů	13
Zatížení předepjatého šroubového spoje statickou provozní silou	14
Aplikace Hookova zákona pro součásti šroubového spoje	14
Zatížení předepjatého šroubového spoje proměnlivou provozní silou	16
2.3. Kontrola svěrné síly ve výrobním procesu	18
Sledování utahovacího momentu a jeho souvislost se svěrnou silou	18
2.4. Uplatnění šroubových spojů na montáži Škoda Octavia	20
Stručný popis pracoviště „zástavby“	24
Popis jednotlivých operací	26
3. <u>Charakteristika různých typů utahovacích nástrojů</u>	37
3.1. Typy utahovacího nářadí	37
Pneumatické utahovací nářadí	37
Elektrické utahovací nářadí	39
3.2. Měření utahovacího momentu ve výrobním procesu	42
Statické vyhodnocení utahovacího momentu	42
Nastavení utahovacího momentu pomocí „kluzného“ mom. klíče	43
Dynamické sledování utahovacího momentu	43
3.3. Kontrolní metody procesu utahování	44
Komponenty a přístroje používané pro kontrolu utahovacího procesu	45

3.4. Kontrola parametrů dotažení a metody řízení	48
Kontrola utahovacího momentu	48
Kontrola utahovacího momentu a úhlu	49
Princip kontroly utahovacího momentu a úhlu	50
Metody řízení	53
Napojení na jiné systémy	55
4. <u>Návrh řešení mechanizace montáže</u>	56
4.1. Současný stav	56
Prověření kapacity stávajícího pracoviště	58
Rozbor limitující op. 1730 – utahovací technika	62
4.2. Ergonomie a spolusouvisející nařízení	64
4.3. Výsledky způsobilosti op. 1730	66
4.4. Navrhované řešení	67
Manipulátor	68
Technické zadání a technická nabídka	69
Rotace v týmu	71
Změna utahovačky	71
5. <u>Ekonomické zhodnocení a vyjádření investičních</u>	
<u>nákladů navržených a zabudovaných zařízení</u>	72
5.1. Navrhovaný manipulátor	72
5.2. Investice do stávajícího zařízení	76
6. <u>Závěr</u>	78
7. <u>Seznam literatury</u>	81
8. <u>Seznam příloh a přílohy</u>	81

## **1. ÚVOD**

Tématem mé diplomové práce je rozbor spolehlivosti procesu montáže dílů a podkompletů u vozu Škoda Octavia pomocí šroubových spojů mechanickým utahovacím nářadím.

Práce byla uskutečněna ve firmě ŠKODA Auto a.s. Mladá Boleslav, v závodě VZ – výroba vozu, konkrétně na montáži nové Octavie.

Montážní hala - označena „M13“ - byla vystavěna jako druhá montáž firmy ŠKODA Auto a.s. v Mladé Boleslavi v roce 1996, z důvodu zahájení výroby vozu Škoda Octavia v témže roce. Předchůdce nové Octavie se vyráběl do roku 2004 a celkem bylo smontováno přes jeden milion vozů. Výroba nové Škody Octavie byla zahájena v srpnu 2004, s cílem navázat na kvalitu, bezpečnost a spolehlivost vozu za atraktivní cenu, se kterou byli zákazníci Škody Auto spokojeni. Od zahájení výroby nové Škody Octavie do současné doby došlo k plynulému nárůstu výroby na 600 vozů denně. Tak veliký je zájem zákazníků o tento vůz.



Obr. 1. Nová Škoda Octavia

Systém zajišťující kvalitu a stabilitu procesu utahování montážních šroubových spojů musí zaručit schopnost produkovat výrobky splňující požadavky na jakost vozu. Kontrola způsobilosti procesu je rovněž zdrojem poznatků pro zlepšování procesů.

Mechanické ruční nářadí je ve většině případů tím nejlepším prostředkem pro utažení spoje. Obvykle je možné zvolit dle potřeb utahovák s vysokou přesností a spolehlivostí, který utáhne šroubový spoj dle požadované normy. Přesto se však i při použití takového nářadí může stát, že dojde ke špatnému utažení, kdy nesprávným zacházením s utahovacím nástrojem, není dosažen požadovaný utahovací moment.



Při výrobě vozu je mnoho dílů montováno do celku šroubovými spoji, též i takovými, které jsou tzv. „životně důležité“ a jejich selhání by mělo katastrofální následky.

## **2. Úvod do problematiky šroubových spojů**

### **2.1. Šrouby, šroubové a závitové spoje**

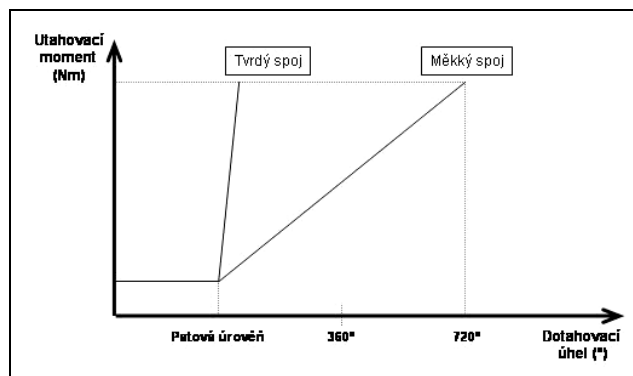
Šrouby, šroubové a závitové spoje patří mezi nejvíce rozšířené rozebíratelné spoje nejen ve strojírenství, ale také v celé řadě dalších oborů (elektrotechnika, stavebnictví, atd.). Jejich charakteristickým konstrukčním prvkem je šroubová plocha, která realizuje bezprostředně spojení součástí.

Šrouby a šroubové spoje se používají pro rozebíratelné spojení strojních součástek (spojovací a upevňovací šrouby), nebo též i pro přeměnu otáčivého pohybu v posuvný. Strojní součásti lze spojit buď šroubovým spojením realizovaným šroubem a maticí, nebo je součásti možno spojit tak, že se na jedné součásti vytvoří vnější nebo vnitřní závit a druhá součást se na něj našroubuje nebo zašroubuje.

### **Vlastnosti šroubových spojů**

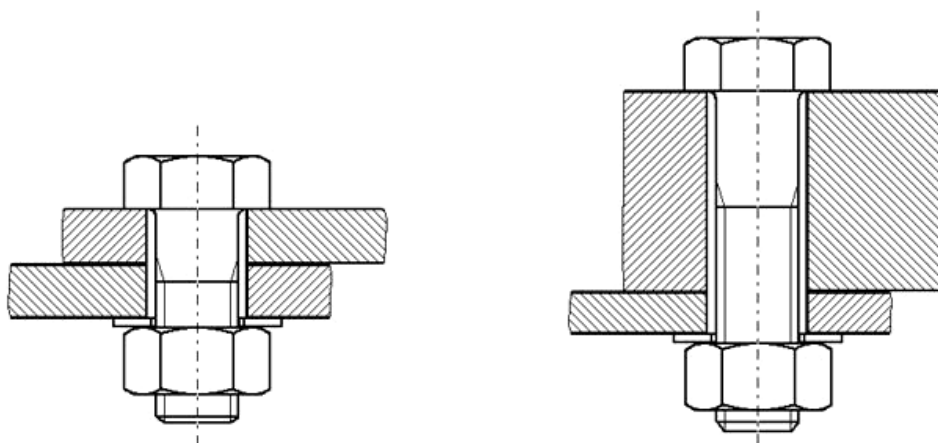
Obvyklý způsob, kterým lze charakterizovat spoj, je jeho poměrný moment neboli „*tvrdost*“. Poměrný moment [Nm/ot] je definován jako: „Zvýšení momentu se změnou úhlu při postupu utahovačky ve šroubovém spoji“. Dle normy ISO 5393 lze spoje popsat takto:

„*Tvrký spoj*“ neboli spoj s vysokým poměrným momentem je takový spoj, u kterého je při pootočení šroubu cca o 30° od patové úrovně dosaženo konečné úrovně utahovacího momentu. „*Měkký spoj*“ neboli spoj s nízkým poměrným momentem je takový spoj, u kterého je konečná úroveň utahovacího momentu dosažena až po otočení o 720° a více od patové úrovně (obr. 2). V praxi je většina spojů mezi těmito dvěma externími hodnotami.



Obr. 2. Charakteristika „tvrdého“ a „měkkého“ spoje

Další sledovanou vlastností spoje je torzní tuhost, neboli tuhost v krutu. Tato proměnná nebyla zatím tak přesně popsána jako tvrdost spoje, přesto můžeme porovnat dva různé spoje na níže uvedených nákresech:



Obr. 3. Spoj „tuhý“ a „slabý“ v krutu.

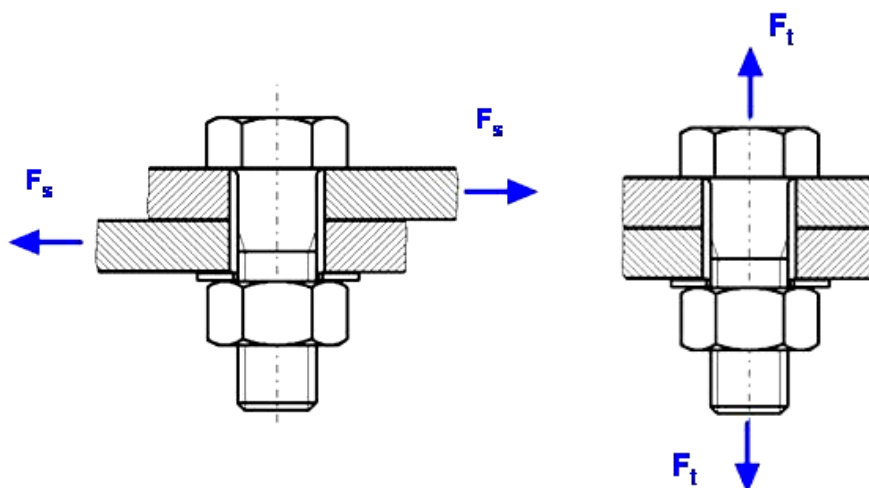
Spoj na obr. 3 vlevo, realizovaný krátkým a silným šroubem, je spoj „tuhý“ v krutu. Oproti tomu spoj na obr. 3 vpravo, provedený dlouhým a tenkým šroubem, je „slabý“ v krutu. Je-li označeno pootočení jednotkové délky šroubu kroutícím momentem  $M_k$  jako zkrut  $\Theta$ , pak tento je přímo úměrný krouticímu momentu  $M_k$ , a nepřímo úměrný tuhosti v kroucení, reprezentované součinem modulu pružnosti ve smyku  $G$  a kvadratickým polárním průřezem plochy průřezu  $J_p$ . Úhel pootočení konců šroubu  $\varphi$  je roven součinu zkrutu  $\Theta$  a délky šroubu  $l$ . Z toho vyplývá, že čím delší a slabší bude šroub, tím náchylnější bude na možnost zkroucení kroutícím momentem, např.: v případě vysokého tření v závitu.

## **Konstrukce šroubových spojů**

Spoj je během provozu vystaven buď smykovému zatížení nebo tahovému napětí. Obvykle se spoj navrhuje tak, aby na něj působilo zatížení pouze v jednom směru. Skutečnost je však taková, že na spoj většinou působí jak smykové, tak i tahové napětí, i když je patrné pouze jedno z nich. Spoj by měl být proveden tak, aby jeho části zůstaly spojeny přes jakékoliv zatížení, jemuž jsou vystaveny.

### **- Spoje vystavené smykovému zatížení -**

Při působení smykového  $F_s$  zatížení dochází ke „smyku“ spojovaných částí (obr. 4 vlevo). U tohoto spoje se přenáší zatížení ne na šroub, ale na spojované části (tření). Spoj tedy vydrží za předpokladu, že svěrná síla je dostatečná pro vznik tření většího, než je smykové zatížení. Spoje vystavené smykovému zatížení se vyskytují zejména ve stavebním inženýrství, např. při spojování jednotlivých mostních sekcí atd.



Obr. 4. Spoj vystavený smykovému a tahovému zatížení

### **- Spoje vystavené tahovému napětí -**

Takové napětí  $F_t$  prochází středem spoje a působí přímo na šroub (obr. 4 vpravo). Tento typ spoje proto klade vysoké nároky jak na kvalitu utahovacího nářadí, tak i na samotný proces utahování (tyto faktory ovlivňují svěrnou sílu). Šroub se musí utáhnout natolik, aby vyvinul větší svěrnou sílu, než je působící zatížení. Současně se ale nesmí utáhnout tak, aby vnější zatížení způsobilo jeho destrukci. Spoje vystavené tahovému

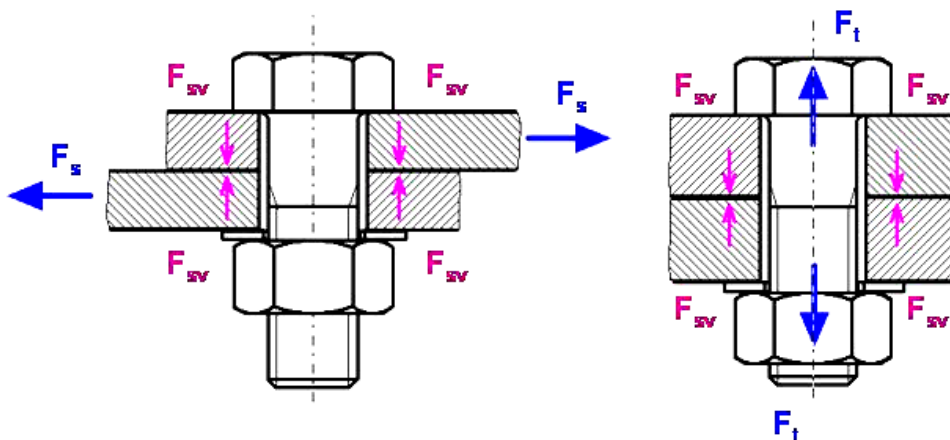
napětí se vyskytují zejména v automobilovém průmyslu – např. závěsné montážní body.

## **Mechanické vlastnosti spoje při namáhání**

Aby bylo možno pochopit, co se děje se zatíženým spojem, je nutno si nejprve objasnit uvolněný spoj. Na obr. 5 je šipkami ( $\uparrow$  a  $\downarrow$ ) znázorněno působení tlakové - svěrné síly  $F_{sv}$  na části spoje při utahování šroubu. Také ve šroubu vzniká tažná síla. Vlivem těchto sil se vlastně šroub prodlužuje a části spoje jsou stlačovány.

### **Smykové účinky zatížení**

Smyková síla  $F_s$  způsobuje skluz části spoje (obr. 5 vlevo). Dokud nepřevýší smykové zatížení tření ve spoji, na šroub nepůsobí žádné jiné síly. Ve správně utaženém spoji by k tomuto nemělo dojít. Pokud zatížení překoná tření, stane se šroub jako takový předmětem smykového zatížení a výsledkem je většinou posuv spojovaných částí.



Obr. 5. Působení svěrné síly  $F_{sv}$  při smykovém a tahovém zatížení

### **Účinky tažného napětí**

Tahová síla  $F_t$  působí přímo na šroub – tahové napětí působí přímo ve šroubu (obr. 5 vpravo). To ale znamená, že šroub má omezenou schopnost odolávat extrémnímu zatížení. Jestliže na spoj působí vnější tažné napětí, pak s rostoucím zatížením šroubu se zmenšuje stlačná síla v částech spoje (svěrná síla). Ve správně sestaveném a utaženém spoji se vždy zachová jistá pozitivní svěrná síla při působení

jakéhokoliv vnějšího zatížení. Pokud je však spoj nesprávně sestaven nebo šroub neodpovídá normě, může nastat jedna ze dvou níže popsanych situací:

1. Vnější síla překoná svěrnou sílu. Části spoje již nebudou fixní. To sice nezpůsobí uvolnění šroubu, ale pravděpodobně vznikne závada v montážním celku.
2. Podobně pokud dojde k tomu, že převážná část kapacity šroubu je využita na vyvinutí svěrné síly, může dojít k prasknutí šroubu vlivem vnějšího zatížení.

## **Mechanické vlastnosti šroubů**

Mechanické vlastnosti šroubů a matic jsou stanoveny pro hotové šrouby a matice při normálních podmínkách prostředí (tj. teplotě, tlaku a vlhkosti).

Normalizované šrouby a matice se vyrábějí nejčastěji z ocelí a mechanické vlastnosti materiálu se udávají třídami pevnosti podle ČSN 02 1005 (ČSN EN 20898). Třídy pevností šroubů se dle ČSN značí číslem a písmenem, podle ISO dvěma čísly od sebe oddělenými tečkou. První číslo udává 1/100 jmenovité pevnosti v tahu  $R_m$ , druhé číslo udává desetinásobek poměru minimální meze kluzu  $R_e$  (nebo smluvní meze kluzu  $R_{p0,2}$ ) ke jmenovité pevnosti v tahu  $R_m$  [vše v MPa].

(Příklad: šroub s označením 8.8 – první číslice : 8  $\Rightarrow$  8 x 100 = 800 MPa =  $R_m$ ; druhá číslice : 8  $\Rightarrow$  0,8 x 800 = 640 MPa =  $R_e$ ). Značky a mechanické vlastnosti pro ocelové šrouby jsou uvedeny v tabulce 1.

Tab. 1. Mechanické vlastnosti šroubů

<i>Mechanické vlastnosti šroubů</i>										
Třída pevnosti (podle ČSN)	4A	4D	4S	5D	5S	6S	6G	8G	10K	12K
Třída pevnosti (podle ISO)	3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	6.9	8.8	10.9	12.9
Mez pevnosti $R_m$ [MPa]	340	350	400	500	500	600	600	800	1000	1200
Mez kluzu $R_e$ popř $R_{p0,2}$ [MPa]	200	210	320	300	400	480	540	640	900	1080

Požadovaných mechanických vlastností se dosáhne při různých výchozích materiálech volbou vhodného způsobu výroby. Vnitřní závity lze vyrobit řezáním (na soustruhu, závitníky), frézováním nebo broušením. Vnější závit navíc ještě řezáním závitoreznou hlavou nebo čelistmi a též je možná výroba válcováním. Broušením se vyrábějí závity, u kterých je vyžadována vysoká přesnost. Výroba závitů válcováním je výroba tvářením za studena, a tímto dochází ke zlepšení mechanických vlastností

šroubů (o 10 – 15% vyšší pevnost v tahu, o 50 – 100% vyšší únavová pevnost). Zkoušky mechanických vlastností prováděných na hotových šroubech jsou dány normou ČSN EN 20898 .

## **2.2. Silové poměry u předepjatého šroubového spoje se spojovacími šrouby**

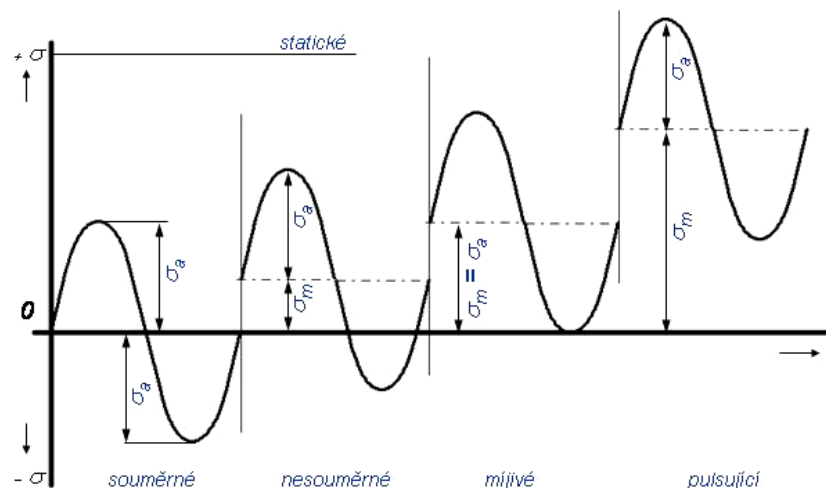
V případě předepjatého šroubového spoje jsou šroub nebo matice utahovány v nezátíženém stavu tak, aby v nich vzniklo určité napětí na dřívku, resp. předpětí. Následně po utažení je spoj zatížen stálou proměnlivou provozní silou. Tyto spoje se používají tehdy, požaduje-li se po spoji dlouhodobá životnost šroubů, zamezení rázového zatížení spojů při střídavém zatížení (převedení střídavého zatížení na proměnlivé), nebo snížení amplitudy mívivého zatížení v ose šroubu a dosažení těsnosti a tuhosti spoje. Tímto způsobem je zatěžována naprostá většina šroubových spojů se spojovacími šrouby.

### **Druhy zatížení šroubových spojů**

Podle průběhu zatěžujícího napětí v čase můžeme dělit zatížení šroubových spojů na statické a kmitavé (obr. 6). **Statické** zatížení je charakterizováno konstantní hodnotou napětí  $\sigma$  po celou dobu působení zatěžující síly  $F$ .

**Kmitavé** zatížení se pak dělí podle vztahu středního napětí  $\sigma_m$  a amplitudy napětí  $\sigma_a$  na:

- 1- STŘÍDAVĚ SOUMĚRNÉ ( $\sigma_m = 0$ ),
- 2- STŘÍDAVĚ NESOUMĚRNÉ (  $|\sigma_m| < |\sigma_a|$  ),
- 3- MÍJIVÉ (  $|\sigma_m| = |\sigma_a|$  ),
- 4- PULSUJÍCÍ (  $|\sigma_m| > |\sigma_a|$  ),



Obr. 6. Druhy zatížení

## **Zatížení předepjatého šroubového spoje statickou provozní silou**

Jednoduchý šroubový spoj si lze představit tak, že matice je dotažena pouze rukou. Stavy šroubového spoje při zatěžování jsou znázorněny na obr. 7. Cílem je stanovit deformaci šroubu (indexy  $s$ ) a spojovaných částí (indexy  $p$ ) po silovém utažení a zatížení statickou provozní silou. Po silovém utažení je šroub namáhán přepětíovou silou  $F_o$ , stejnou silou jsou spojované součásti k sobě přitlačovány. Současně dojde k protažení šroubu a ke stlačení spojovaných částí. Velikosti prodloužení šroubů a velikosti stlačení součástí nejsou stejné, pokud jsou tyto deformace pružné, platí pro ně Hookův zákon.

## **Aplikace Hookova zákona pro součásti šroubového spoje**

Obecné napětí v součástkách  $\sigma = F/S$  je přímo úměrné poměrnému prodloužení  $\varepsilon = \Delta l / l$ .

$\sigma = E \cdot \varepsilon$ , kde  $E$  je modul pružnosti. Po dosazení

$$F/S = E \cdot \Delta l / l \quad (1)$$

a po úpravě:  $F = E \cdot S / l \cdot \Delta l = c \cdot \Delta l$ , (2)

$$\text{kde} \quad c = E \cdot S / l \quad (3)$$

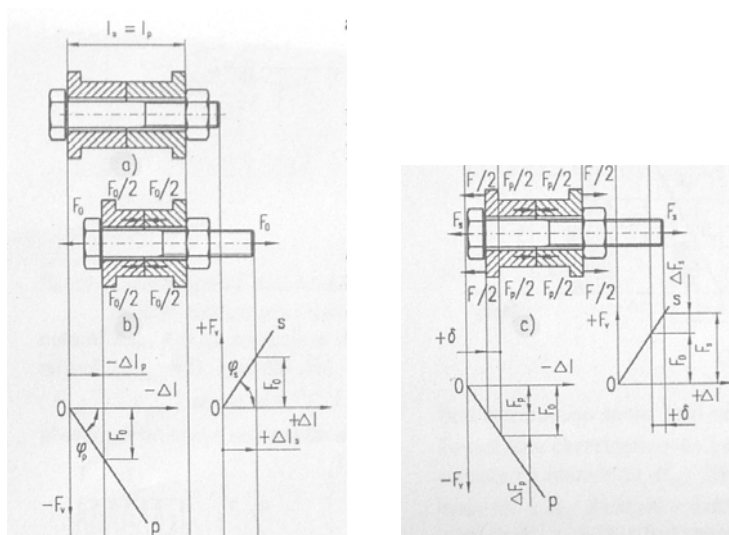
je konstanta tuhosti [N/mm]. Pro šroub tedy platí:

$$F_s = c_s \cdot \Delta l_s, \text{ kde } c_s = E_s \cdot S_s / l_s, \quad (4)$$

a pro spojované části:

$$F_p = c_p \cdot \Delta l_p, \text{ kde } c_p = E_p \cdot S_p / l_p. \quad (5)$$

Ty to rovnice jsou rovnicemi přímek se směrnicemi  $c_s = \tan \varphi_s$ , a  $c_p = \tan \varphi_p$  v souřadném systému  $F_v - \Delta l$ . Hodnoty  $S_s$  a  $S_p$  jsou velikosti odpovídajících průřezů šroubů a spojovacích částí, které se zúčastní předpětí.



Obr. 7. Zatížení šroubového spoje statickou silou

Je-li spoj po utažení zatížen statickou provozní silou  $F$ , pak tato síla způsobí dílčí protažení šroubu o hodnotu  $+\delta$  a tím dojde ke zvýšení síly ve šroubu z hodnoty  $F_0$  na hodnotu  $F_s = F_0 + \Delta F_s$ . Při protažení šroubu o  $+\delta$  dojde k částečnému uvolnění stlačených spojovacích částí o stejnou hodnotu  $(+\delta)$  a síla ve spojovaných částech klesne na hodnotu  $F_p = F_0 - \Delta F_p$ . Jestliže statická provozní síla  $F$  způsobí přírůstek síly ve šroubu  $\Delta F_s$ , a úbytek síly ve spojovaných částech  $\Delta F_p$ , pak musí platit, že

$$F = \Delta F_s + \Delta F_p. \quad (6)$$

Platí-li dále, že  $\Delta F_s / \delta = \tan \varphi_s = c_s$ , a  $\Delta F_p / \delta = \tan \varphi_p = c_p$ ,

a  $\delta = \Delta F_s / c_s = \Delta F_p / c_p$ , dostáváme, že:



$$F_s = F_o + c_s / (c_s + c_p) \times F, \quad (7)$$

$$a \quad F_p = F_o - c_p / (c_s + c_p) \times F, \quad (8)$$

kde  $c$  je konstanta tuhosti [N/mm] – viz (3).

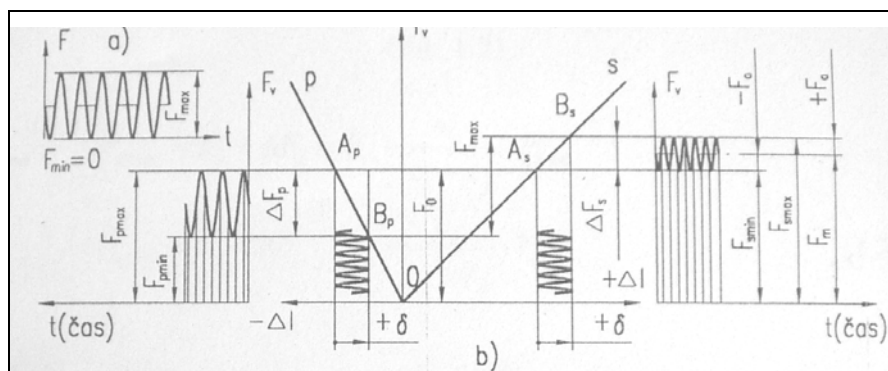
Mají-li zůstat spojené součásti i za provozu na sebe přitlačeny (to je nutné např. při požadované těsnosti spoje), musí být  $F_p > 0$ . Výsledkem řešení zatížení šroubového spoje statickou provozní silou je stanovení přepět'ové síly  $F$ , výsledné síly ve šroubu  $F_s$  pro jeho pevnostní výpočet a síly  $F_p$  pro určení pevnostního výpočtu, popř. určení požadované těsnosti apod.

## **Zatížení předepjatého šroubového spoje proměnlivou provozní silou**

Je-li spoj zatížen pravidelně se opakujícím zatížením mezi hodnotami  $F_{max}$  a  $F_{min}$ , uvažují se dva základní typy zatížení a to:

- zatížení m'jivé ( $F_{min} = 0$ ), a
- zatížení střídavě souměrné ( $F_{min} = - F_{max}$ ).

Častější je případ zatížení šroubového spoje m'jivou silou, grafy popisující síly v šroubech a spojovaných součástkách jsou na obr. 8.



Obr. 8. Zatížení šroubového spoje m'jivou silou

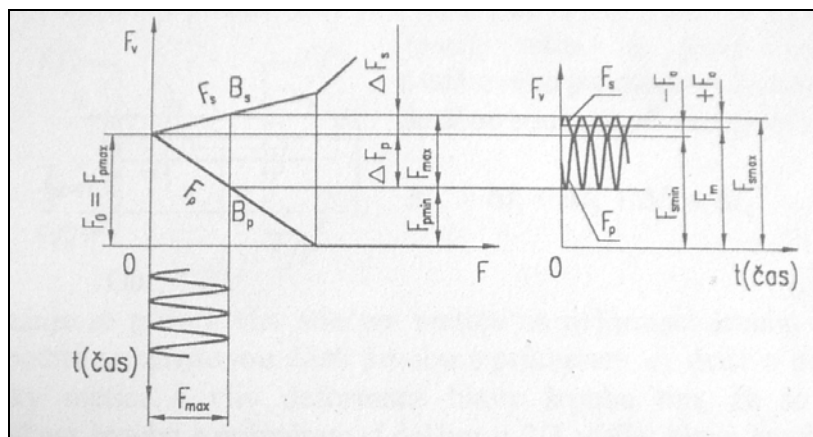
Je-li zatížení spoje nulové ( $F_{min} = 0$ ), je zatěžovací stav charakterizován body  $A_s$  a  $A_p$ . Když zatížení vzroste na maximum  $F_{max}$ , je zatěžovací stav charakterizován body  $B_s$  a  $B_p$ . Zatížení a deformace se pak mění pravidelně mezi body  $A_s$  a  $B_s$  s frekvencí stejnou, jako má vnější zatěžující síla. Stejně je tomu i u zatížení a deformace spojovaných částí (body  $A_p$  a  $B_p$ ). Překreslíme-li si tytéž poměry do diagramu  $F_v - F$ ,

(obr. 9), zjistíme, že maximální a minimální síly ve šroubu a spojovaných částech budou dosahovat hodnot:

$$F_{s \max} = F_o + \Delta F_s = F_o + c_s / (c_s + c_p) \times F_{\max} = F_{p \min} + F_{\max}, \quad (9)$$

a

$$F_{s \min} = F_o = F_{p \min} + \Delta F_p = F_{p \min} + c_p / (c_s + c_p) \times F_{\max}. \quad (10)$$



Obr. 9.  $F_v - F$  diagram spoje zatíženého mívivou silou

Při zatížení předepjatého šroubového spoje mívivou silou dojde:

- ke změně charakteru zatížení, síla ve šroubu bude mít nyní pulsující charakter se statickou složkou síly  $F_m$  a amplitudovou složkou  $\pm F_a$ , kde:

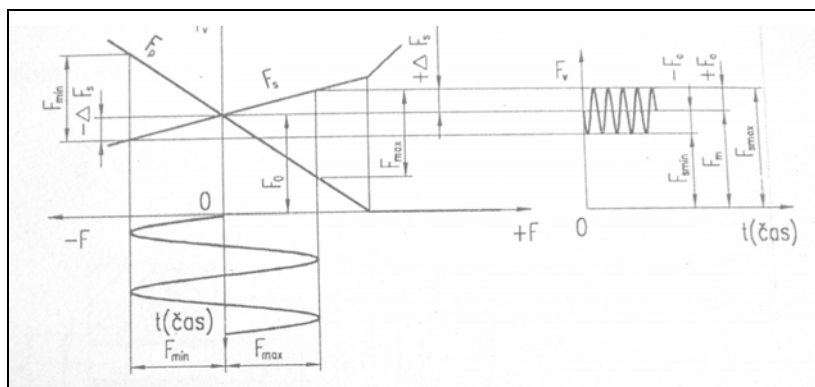
$$F_m = F_o + \Delta F_s / 2, \quad (11)$$

$$a \quad F_a = \pm \Delta F_s / 2. \quad (12)$$

- k podstatnému snížení velikosti amplitudy síly ve šroubu  $\pm F_a$  oproti amplitudě provozní síly  $\pm F_{\max} / 2$ .

Obě tyto změny mají velmi příznivý vliv z hlediska únavové bezpečnosti šroubu.

Pro střídavé souměrné zatížení jsou silové poměry pro předepjatý šroubový spoj znázorněny v diagramu  $F_v - F$ , (obr. 10):

Obr. 10.  $F_v - F$  diagram spoje zatíženého střídavě - souměrnou silou

Kde: 
$$F_{s \max} = F_o + \Delta F_s = F_o + c_s / (c_s + c_p) \times F_{\max}, \quad (13)$$

a 
$$F_{s \min} = F_o - \Delta F_s = F_o - c_s / (c_s + c_p) \times F_{\min}. \quad (14)$$

Pak: 
$$F_m = F_o, \text{ a } F_a = \pm \Delta F_s. \quad (15)$$

Změna charakteru zatížení ze střídavého souměrného na pulsující je zde z hlediska únavové bezpečnosti ještě významnější. Rovněž také zde dojde ke snížení velikosti amplitudové složky síly ve šroubu proti amplitudě provozní síly.

### **2.3. Kontrola svěrné síly ve výrobním procesu**

Z předchozího vyplývá, že to, co nás nejvíce zajímá při kontrole utaženého spoje, je svěrná síla. Zatím se však nenašla metoda, která by umožňovala tuto kontrolu ve velkosériové výrobě. Musíme proto místo toho sledovat ostatní parametry, které svěrnou sílu ovlivňují. Nejrozšířenější metodou kontroly svěrné síly je v současné době sledování utahovacího momentu.

### **Sledování utahovacího momentu a jeho souvislost se svěrnou silou**

Důvody pro široké uplatnění této metody jsou hlavně historické. V minulosti nebyla přesná kontrola svěrné síly aktuální, protože výrobky byly často předimenzovány (dle dnešních měřítek). Postačující metodou pro zjištění pevného spoje proto bylo sledování utahovacího momentu při utahování. Bylo také obvyklé, že

většina kontrol kvality se prováděla odděleně od montáže nebo až po ní. Utahovací moment je parametr, který může hodnotit až nakonec. V běžném spoji se jen 10% energie spotřebované na otáčení šroubu přeměňuje na svěrnou sílu, zbylých 90% se ztrácí třením (cca 40% je tření v závitu a cca 50% je tření pod hlavou).

Je nutno počítat s tím, že jakákoli změna tření ve spoji má značný účinek na svěrnou sílu. Např.: při zvýšení průměrného součinitele tření  $f$  ve spoji z 0,10 (mírně naolejovaný) na 0,18 (suchý) klesne svěrná síla při stejném utahovacím momentu o 50%! Pro provedení spoje je nutné používat pouze předepsané šrouby a matice. Níže uvedená tabulka 2 ukazuje kolísání ztrát vzniklých třením mezi šrouby a maticemi s různou povrchovou úpravou.

Tab. 2. Hodnoty součinitele tření dle materiálu spojovacích dílů

Materiál šroubu:	Materiál matice:	Součinitel tření $f$ [- ] v závitu	
		suchém:	mírně naolejovaném:
neupravený	neupravený	0,18 – 0,35	0,14 – 0,26
povrch. úprava fosforem	neupravený	0,25 – 0,40	0,17 – 0,30
pozinkovaný	neupravený	0,11 – 0,36	0,11 – 0,20
povrch. úprava fosforem	povrch. úprava fosforem	0,13 – 0,24	0,11 – 0,17
pozinkovaný	pozinkovaný	0,18 – 0,42	0,13 – 0,22

Neméně důležitá je kontrola rozměrových tolerancí částí spoje. V případě jejího zanedbání opět dochází ke kolísání tření ve spoji, což ovlivňuje svěrnou sílu.

Z předchozího tedy vyplývá, že je bezpředmětné kontrolovat přesnost utažení, pokud ve spoji není odpovídající tření.

## **2.4. Uplatnění šroubových spojů na montáži**

### **Škoda Octavia**

Šroubové spoje, nezbytné z konstrukčního hlediska, se dají najít na většině operací montáže vozu Škoda Octavia A5. Celá výroba – montáž – je prováděna ve výrobní hale M13 na hlavní lince a linkách předmontáže. Na hlavní lince a linkách předmontáže dveří, agregátu a podvozku je cca 1000 pracovních operací, prováděných na 180 pracovních pozicích - „taktech“. Z tohoto počtu je 335 operací na 63 pracovních pozicích, které realizují spojení součástí nebo podkompletů šroubovými spoji. Předmontáž cocpitu vozu je prováděna též v hale M13 dodavatelsky firmou SAS a do tohoto výčtu není započítána.

Zásady pro návrhy, konstrukci a montáž šroubových spojů je v závodě Škoda předepsáno normou VW 011 10 – Šroubové spoje. Touto normou je stanovena volba možných postupů montáže dílů – utahování.

Zásadně mohou být zvoleny dva hlavní postupy:

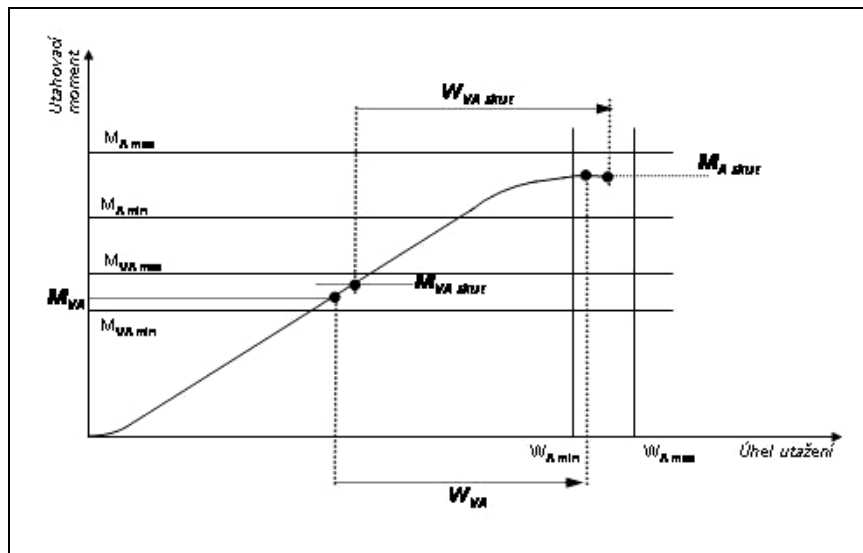
- 1) Montáž s dotažením spoje na mez průtažnosti, dotažení je řízeno úhlem otáčení nebo impulsem;
- 2) Montáž s dotažením spoje pod mezí průtažnosti, dotažení je řízeno točivým momentem.

Zvláštní případ je montáž řízená úhlem otáčení, ale pod mez průtažnosti.

#### **ad 1: Montáž s řízeným úhlem otáčení (obr. 11)**

Řízení úhlu otáčení je standardní postup pro montáž na mezi průtažnosti. Cílovou veličinou je zadaný úhel dotažení  $W_A$ , který je dosažen po určitém dotažení na utahovací moment  $M_{VA}$ . Tímto „předutažením“ pod mezí průtažnosti a závěrečným použitím úhlu otočení je šroubový spoj definovaně dotažen na mez průtažnosti. Přitom příslušná pevnost šroubu a stoupání závitu určují dosažitelné předpětí. Vliv tření spodní strany hlavy již není rozhodující.

Nastavuje se malý rozptyl síly předpětí při současném větším rozptylu vzniklého utahovacího momentu  $M_{Askut}$ . Kontrola postupu se provádí nejjednodušeji vynesemím

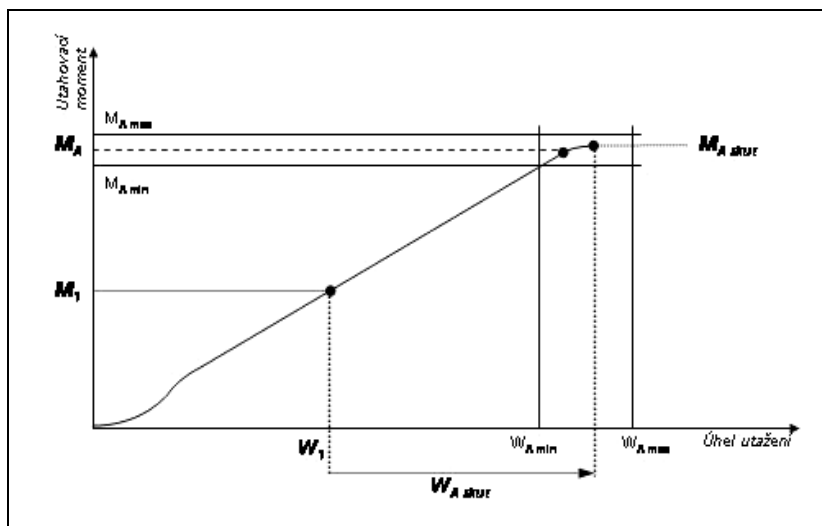


Obr. 11. Postup utahování s řízeným úhlem otáčení

Cílovou veličinou je zadaný utahovací moment ( $M_A$ ).

Jako opěrný bod pro rozptyl síly předpětí může být použit při kontrolovaných systémech šroubování řízený úhel dotažení  $W_{Astut}$ .

Postupy montáže s řízeným momentem utažení jsou normou VW 011 10 označeny AD18 až AD15.



Obr. 12. Postup utahování s řízeným točivým momentem

**Montáž s řízeným úhlem otáčení (AW 12)** se používá při určitých montážních postupech, při kterých nemůže být překročena mez průtažnosti šroubu. V normě je uveden postup AW 12, který je dimenzován tak, že mez průtažnosti šroubu není dosažena. Snížením vlivu tření se nastaví menší rozptyl síly předpětí, než při postupu AD, a je možno dodržet stanovenou úroveň síly předpětí. Využití šroubu tím může být zlepšeno.

Jaký druh utahovacího postupu bude zvolen je dáno i dimenzováním šroubových spojů. Zohledníme-li využití šroubového spoje přibližně na 100% jsou použity postupy na mez průtažnosti, při využití spoje na 50 – 90% jsou voleny utahovací postupy pod mez průtažnosti.

Stanovení a volba postupu utahování je dána požadovanou konstrukcí šroubového spoje. Pro vlastní realizaci šroubování (utažení) se volí vhodné nářadí podle potřeby s ohledem na daný postup (nad mezí průtažnosti / pod mezí průtažnosti). Potřebné parametry pro volbu, stejně jako ke kontrole procesu jsou obsaženy v tab. 3.

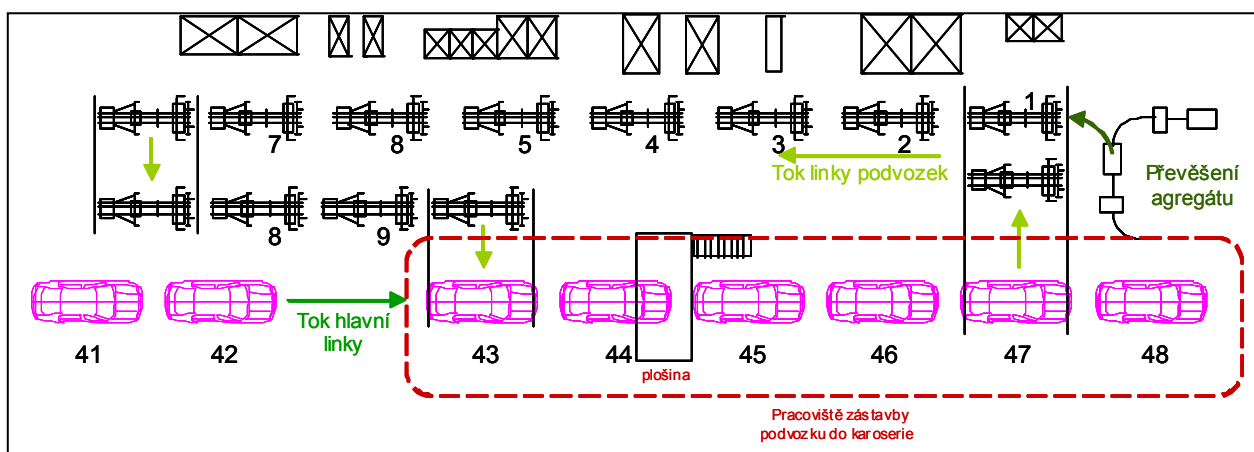
Tab. 3. Postupy utahování

Stupeň jakosti	Typ	Postup montáže- utahování (nářadí)	Šroubovací nářadí (příklady)	Využití šroubů [%]	Rozptyl sily předpětí [%]	Tolerance točivého momentu nářadí [%]	Tolerance úhel otočení nářadí [°]
AD 18	pod mezí pružnosti	řízeno točivým momentem ručně	<ul style="list-style-type: none"> <li>• momentový klíč</li> <li>• elektronický ruční klíč</li> </ul>	> 50	± 35	±15	---
AD 17		točivým momentem řízený šroubovák	<ul style="list-style-type: none"> <li>• akumulátorový šroubovák</li> <li>• ukrucovací šroubovák</li> <li>• spojkový šroubovák</li> </ul>	> 55	± 33	± 15 ± 12	
ADI 16		točivým momentem řízený; impulsní šroubovák elektronicky řízený	<ul style="list-style-type: none"> <li>• impulsní šroubovák (systém VW QIS)</li> </ul>	> 60	± 30	± 10	
AD 15		točivým momentem řízený; impulsní šroubovák elektronicky řízený	<ul style="list-style-type: none"> <li>• šroubovák EC</li> </ul>	> 65	± 28	± 7,5	
AW 12		řízeno úhlem otáčení pod mezí pružnosti  ručně / šroubovák	<ul style="list-style-type: none"> <li>• pneumatický šroubovák elektronicky řízený</li> <li>• elektronicky kontrolovaný ruční (pouze AW 12)</li> </ul>		± 15	Ručně: ±15 šroubovák ±7,5	± 15 ±5
AW 11	na mezí pružnosti	řízeno úhlem otáčení, ručně	<ul style="list-style-type: none"> <li>• momentový klíč</li> <li>• elektronický ruční klíč</li> </ul>	přibližně 100	± 13	±15 <sup>9)</sup>	± 15
AW 10		řízeno úhlem otáčení  šroubovák elektronicky řízený	<ul style="list-style-type: none"> <li>• šroubovák EC</li> <li>• pneumatický šroubovák elektronicky řízený</li> </ul>		± 10	± 7,5	±5



## **Stručný popis pracoviště „zástavby“**

Jedny z důležitých montážních operací na montáži Škoda Octavia jsou operace, na kterých je prováděno spojení podvozku a karoserie (obr. 13). Celá tato část montážní linky označována jako „Zástavba podvozku karoserie do vozu“ nebo zkráceně „Zástavba“ je prezentována pracovními pozicemi 43 – 48. Konkrétní umístění tohoto pracoviště v hale M13 – montáži Octavie je vyznačeno na layoutu M13 – Příloha 1.



Obr. 13. Pracoviště „zástavby“ karoserie do vozu

Kompletní motor s převodovkou a přední nápravou s řízením a předními tlumiči a dalšími díly přijíždí na montážním vozíku z linky agregátu (obr. 13 vpravo) na linku kompletace podvozku (obr. 13 nahoře). Zde ke kompletu motoru přistupují díly zadní nápravy s tlumíci jednotkami, výfuk, brzdové a palivové rozvody, palivová nádrž a komplet řazení. Zkompletovaný podvozek přijíždí na rámu pod hlavní linku, kde se po závěsech dopravují karoserie.

Jelikož pracovní pozice jsou konstrukčně provedeny manipulátory, posunující rámy s podkompletem podvozku, resp. i s karoserií v určitém daném časovém úseku – *taktu* - jsou i pracovní pozice označovány jako *takty* 43 – 48. Na těchto šesti taktech je prováděno 24 pracovních operací. Vzhledem k tématu DP jsou zde, v tabulce 4 představeny ty operace, u kterých je prováděna montáž pomocí šroubových spojů.

Tab. 4. Přehled šroubových operací, spoj materiálu a použitého nářadí na pracovišti „zástavby“

Takt	Č. op.	Název operace	šroub/matice	Počet spojů	zatahovačka	moment $M_u$ [Nm]	M klíč	úhel $\alpha$ [°]	Typ zatahovačky	Firma
44	1675	Šroubování zadní nápravy do karoserie	M12 x 1,5 x 95	4	EC	90 ± 9%		90 ± 15	QMX 62-32 RT	AC
44	1677	Zachycení šroubů lůžek zad. náp. do karoserie L + P	M10 x 35AS	8		6			AKU AC PES 9.6 T	AC
44 P	1680	Montáž šroubů předních tlumičových jednotek L + P	M 8 x 26	6	EC	15 ± 15%		90 ± 15	ETV S7 - 100 - 13	AC
44 P	1685	Montáž pružného lůžka na konzolu motoru	M12 x 1,5 x 70	2	EC	60 ± 15%		90 ± 15	QMX 62-32 RTV	AC
44 P	1690	Montáž pružného lůžka na konzolu převodovky	M12 x 1,5 x 70	2 + 1*	EC	60 ± 15%		90 ± 15	QMX 62-32 RTV	AC
45	1670	Šroubování přední nápravy do karoserie	M12 x 1,5 x 100 M12 x 1,5 x 90	2 2	EC	70 ± 7		90 ± 15	QMX 62-32 RT	AC
45	1700	Montáž středního držáku výfuku	M 8 x 25	3	Pneu <b>17 ± 2,5 Nm</b>	23 ± 3Nm			LTV 37 SR 007-10	AC
45	1705	Montáž palivové nádrže	M 8 x 25	2	EC	20 ± 3		90 ± 15	DGD 47 EA 135 HM4	DGD
45	1710	Šroubování zadních tlumičů do karoserie L + P	M 10 x 35AS	4	EC	50 ± 15%		45 ± 15	QMX 50 - 15 - RT	AC
46	1715	Montáž zad. držáku výfukového potrubí	M 8 x 18	2	Pneu <b>18 ± 2 Nm</b>	23 ± 3Nm			LTV 37 SR 007-10	AC
46	1720	Montáž šroubů ramen zadní nápravy	M 10 x 35AS**	8**	EC	50 ± 15%		45 ± 15	ETP S9 - 320 - 20	AC
48	1730	Dotažení šroubů momentové vzpěry	M 10 x 35 M 10 x 75	1 1	EC	40 ± 15%		90 ± 15	DGD 47 EA 175 AX5	DGD
48	1732	Montáž tepelné clony kloubového hřídele	M 10 x 28	1	Pneu <b>18 ± 2 Nm</b>	25 ± 3Nm			LTV 37 SR 007-10	AC
48	1745	Montáž šroubu tep. clony	samořez 5 x 16	1	AKU	20 ± 0,5			6702 D	Makita
48	1765	Montáž příček karoserie	M 8	8	EC	20 ± 2			ETV S7 - 30 - 10	AC
48	1770	Spojení před. a zad. částí brzd. potrubí - spojka	M 10 x 1	4	Pneu <b>9,8 ± 1,4 Nm</b>	14 ± 15%			PNEU 35 TNAL 5-6	CLECO

\* - pouze pro motorizaci 1,9 a 2,0 TDI a 2,0 FSI má lůžko převodovky 3 šrouby

\*\* - šrouby jsou zachyceny v op.: 1677

## **Popis jednotlivých operací**

**Pracovní posice 43** – Zvednutí montážního rámu – automatická operace. Na spojení podvozku s karoserií (následně na pracovní posici 47 i odpojení montážního rámu od karoserie) slouží hydraulické nůžkové zdvihadací stoly, na kterých jsou namontovány standardní dopravní elementy – montážní rámy. Zvedací stoly pracují automaticky, nemají žádné externí ovládací prvky. Karoserie a montážní rám jsou automaticky dopraveny ke zdvihacímu stolu, montážní rám se zafixuje aretačním kolíkem, rám se zdvihne do koncové polohy, přitom se podvozek zasune do karoserie. Dále montážní rám s karoserií odjedou na další pracovní posici.

### **Pracovní posice 44 – na pracovní plošině; (obr. 14)**

vykonávané pracovní operace: 1680 - Montáž šroubů předních tlumičových jednotek,

1685 - Montáž pružného lůžka na konzolu motoru

1690 - Montáž pružného lůžka na konzolu převodovky.

Montážní plošina slouží pracovníkům jako pracovní oblast na provedení montážních prací v motorovém prostoru. Operace jsou prováděny EC utahovačkami (op. 1680) a dvěma utahovacími zařízeními, každé pro jednu stranu (op. 1685 a op.1690).



Obr. 14. Pracovní posice 44

**Všeobecně** se utahovací zařízení skládá:

- z jednoho nebo více elektronicky ovládaných vřeten,
- z mechanické části, která pneumaticky nebo manuálně navede utahovací vřetena ke šroubovému spoji.

Utahovací zařízení jsou spouštěna ovládacími drážadly s integrovanými tlačítky. Stlačením a držením tlačítek oběma rukama se spustí utahování a puštěním obou nebo jen jednoho tlačítka se utahování ihned zastaví. Utahování se automaticky zastaví po dosažení nastaveného krouticího momentu. Správné utažení (dosažení správného krouticího momentu) je signalizováno zelenou LED kontrolkou na utahovacím zařízení, špatné utažení (nedosažení správného krouticího momentu) je signalizováno červenou LED kontrolkou na utahovacím zařízení.

V případě špatného utažení je možno šroubový spoj uvolnit a pokusit se ještě jednou o utažení. Pokud se ani na podruhé nepovede šroubový spoj utáhnout, je pracovník povinen neutažený spoj označit v kartě šroubových spojů. Její část je vidět na obr. 15.

<b>ŠkodaAuto</b> <b>SPOJE UTAHOVANÉ EC vozu A5, závod MB podvozek verze 1</b>									
Sada 400T 200T 100T 80T 40T 20T 10T 5T 4T 2T 1T 800 400 200 100 80 40 20 10 8 4 2 1									
Provaz: 16 8 4 2 1 Checklist: 16 8 4 2 1 Verze: 32 16 8 4 2 1 Strana č. 32 16 8 4 2 1									
Takt A5	Utahovací místo	L.O.	n.L.O.	Ópraveno	Popis závady - určení místa				
44	PŘEDNÍ TLUMIČ - KAROSERIE L				<input type="checkbox"/> L. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> L. STRANA - 2. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> L. STRANA - 3. SPOJ				
44	PŘEDNÍ TLUMIČ - KAROSERIE P				<input type="checkbox"/> P. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 2. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 3. SPOJ				
44	MONTÁŽ PRUŽNEHO LŮŽKA PŘEVODOVKY				<input type="checkbox"/> 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> 2. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> 3. SPOJ				
44	MONTÁŽ PRUŽNEHO LŮŽKA MOTORU				<input type="checkbox"/> 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> 2. SPOJ				
44	MONTÁŽ RAMU ZADNÍ NÁPRAVY L + P STRANA				<input type="checkbox"/> L. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> L. STRANA - 2. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 2. SPOJ				
45	MONTÁŽ PŘEDNÍ NÁPRAVY L + P STRANA				<input type="checkbox"/> L. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> L. STRANA - 2. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> L. STRANA - 3. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 2. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 3. SPOJ				
45	MONTÁŽ ZADNÍCH TLUMIČŮ DO KAROSERIE L + P STRANA				<input type="checkbox"/> L. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> L. STRANA - 2. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 2. SPOJ				
45	PALIVOVÁ NADŘZ - KAROSERIE				<input type="checkbox"/> 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> 2. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> 3. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> 4. SPOJ				
46	ZADNÍ NÁPRAVA, RAMENA KAROSERIE L + P STRANA				<input type="checkbox"/> L. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> L. STRANA - 2. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 1. SPOJ				
					<input type="checkbox"/> P. STRANA - 2. SPOJ				

Obr. 15. Karta šroubových spojů

Zápisem v kartě je zajištěno, že vůz s nedotaženým spojem je po montáži převezen na pracoviště repase, kde dojde k odstranění závady výměnou šroubu nebo spojovaného dílu a k následnému dotažení spoje.

**Operace 1680** je prováděna dvěma pracovníky (levá a pravá strana) dvěma EC zatahovačkami Atlas Copco, ETV S7 - 100 – 13 CTADS. Jedná se o pravoúhlou elektrickou utahovačku šroubových spojů řady Tensor S. Řada Tensor S je určena pro utahování šroubových spojů, u kterých existuje požadavek na sledování hodnoty momentu; tyto hodnoty mohou být zaznamenány pro potvrzení o utažení montážního prvku specifikovaným momentem.

Utahovací vřetena použitá v utahovacích zařízeních pro utažení šroubových spojů op. 1685 a op.1690 jsou vřetena Atlas Copco, označená QMX 62 -32 RTV. Jedná se o utahovačky šroubových spojů s úhlovou hlavou, konstruovány tak, aby vydržela i v nejnáročnějším prostředí. Se svými vysokými otáčkami a vynikající trvanlivostí vyhoví i nejpřísnějším požadavkům. Elektrický motor v utahovačkách QMX patří k bezkartáčovým stejnosměrným motorům Atlas Copco. Má vysokou účinnost, což mu umožňuje vyvíjet vysoký výkon při vysokém poměru cyklů bez přehřívání aby bylo možno dosáhnout nejvyšší úrovně jak v přesnosti, tak v trvanlivosti.

Výše uvedené utahovačky a utahovací vřetena jsou charakterizovány těmito hodnotami:

Tab. 5. Charakteristika utahovaček na taktu 44.

Model	Rozsah momentu [Nm]	Max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
ETV S7-28-10 CTADS	20 - 100	300	2,5
QMX 62-32 RTV	70 - 340	190	13,5

#### **Pracovní pozice 44 – bez pracovní plošiny –**

vykonávaná pracovní operace: 1675 - Šroubování zadní nápravy do karoserie.

Utahovací zařízení (obr. 16) umístěné na tomto taktu se používá pro utažení zadní nápravy s karoserií. Utahovací zařízení se skládá z utahovací jednotky, pneumatických jednotek a ovládacích prvků. Zařízení má dvě montážní pozice ve směru dopravy karoserie, kontrolované indukčním snímačem. Na danou rozteč šroubových spojů se vřetena nastavují automaticky pneumatickým pohonem. Též pohyb v ostatních 2 osách se uskutečňuje pneumatickým pohonem. Přejezd

manipulátoru do požadovaných poloh je ovládán pracovníkem pomocí označených tlačítek. Utahovací proces může nastat po odmačknutí spínačů oběma rukama, po dosažení montážní polohy. Správnost dotažení je signalizována rozsvícením zelené kontrolky. Dvě vřetena Atlas Copco QMX 62 -32 RT jsou obdobná jako u předchozí operace, rozdíl je v použití přímé utahovací hlavy s prodlouženým pohybem pro utažení delších šroubů. Parametry vřeten jsou shodné s předchozími vřeteny.



Obr. 16. Manipulátor pro zatažení zadní nápravy

Další prováděná utahovací operace na taktu 44 je op. 1677 - Zachycení šroubů lůžek zadní nápravy do karoserie. Zde je prováděno přemontování šroubů pro následné utažení v jiné operaci. Tuto operaci provádějí pracovníci na levé a pravé straně dvěma AKU utahovačkami Atlas Copco AKU AC PES 9,6 T. (obr. 17)



Obr. 17. AKU utahovačka PES 9,6 T



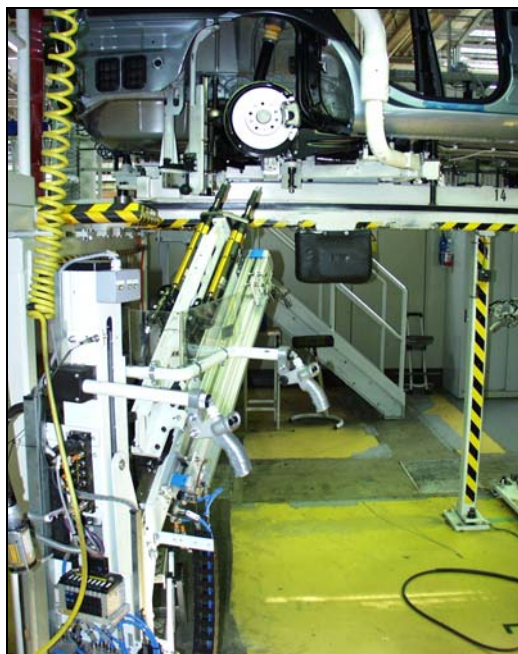
Akumulátorové utahovačky všeobecně představují nářadí, které eliminuje hlavní problém při použití pneumatických nebo EC utahovaček – zaručují volnost pohybu při provádění operace bez omezení vzduchovou hadicí nebo elektrickým kabelem. Zdroj energie je nabíjecí akumulátor, který je součástí nářadí. Jsou charakterizovány přesností utahovacího momentu, malou zpětnou silou a možností rychlého operativního nasazení do výroby. Výhodou je i malá hlučnost a zaručená čistota pro obsluhu a jeho pracovní prostředí. Akumulátorová zatahovačka PES 9,6 T je dvourychlostní reverzibilní utahovačka s rychloupínacím sklíčidlem. Výměnný akumulátor má kapacitu 2,0 Ah a váží 570 gramu.

Tab. 6. Charakteristika utahovačky AKU PES 9,6 T

Model	Rozsah momentu [Nm]	Max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
AKU PES 9,6 T	8,4 – 24,2	380	1,3

**Pracovní posice 45, (obr. 18)**

vykonávaná pracovní operace: 1710 - Šroubování zadních tlumičů do karoserie.



Obr. 18. Manipulátor pro zatažení zadních tlumičů

Dvě utahovací zařízení se skládají z utahovacích jednotek, pneumatických jednotek a ovládacích prvků. Utahovací zařízení stojí na otočných podstavcích, které

slouží k nastavení přesné polohy. Po nastavení jsou pevně přichyceny k podlaze. Každá utahovací jednotka se skládá ze dvou spojených a plavmo uložených utahovacích vřeten. Na všech vřetenech jsou prodlužovací nástavce. Vřetena jsou vedena pomocí lineárních vedení a vysouvají se pneumaticky. Nejprve dochází k svislému pohybu v (osa Z) a po dosažení koncové polohy se zapne šikmé vysouvání utahovacích vřeten. Po ukončení zatahování a puštění tlačítka „Start“ se automaticky vrátí do parkovací pozice. Správnost dotažení je signalizována rozsvícením zelené kontrolky. Dvě spojená vřetena na každé straně jsou typově označena QMX 50 - 15 – RT od firmy Atlas Copco. Od předcházejících se liší parametry – viz tabulka.7.

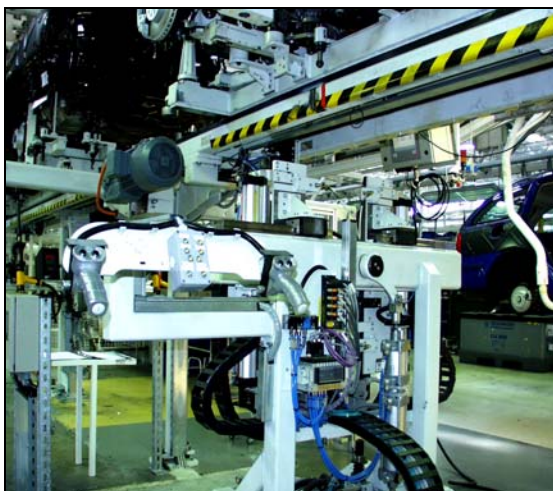
Tab. 7. Charakteristika utahovačky QMX 50-15 RT

Model	Rozsah momentu [Nm]	Max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
QMX 50-15 RT	30 - 150	330	5,8

Další prováděná utahovací operace na taktu 45 je op. 1670 - Šroubování přední nápravy do karoserie (obr. 19). Utahovací zařízení pro utahování šroubových spojů v této operaci je podobné utahovacímu zařízení zadní nápravy (viz výše). Skládá se z utahovací jednotky, pneumatických jednotek, pohonu a ovládacích prvků. Zařízení má tři montážní pozice ve směru dopravy karoserie (v ose X), které jsou kontrolovány indukčním snímačem.

Utahovací proces může spustit jen po dosažení montážní pozice, která je signalizována blikáním zelené LED diody. V jednotlivých montážních pozicích se vřetena automaticky nastaví na danou rozteč šroubových spojů (osa Y). Svislé vysunutí v ose Z a nastavení roztečí v ose Y v dané montážní posici se uskuteční pneumaticky. Utahovací jednotka obsahuje dvě paralelně umístěná utahovací vřetena Atlas Copco QMX 62 -32 RT, která jsou shodná se vřeteny použitými v operaci 1675 (viz výše).





Obr. 19. Manipulátor pro zatažení přední nápravy

V dalších operacích montážní linky zástavby jsou pro utažení šroubových spojů použity ruční utahovačky - ruční EC utahovačky, utahovačky s pneumatickým pohonem (vzduchové utahovačky) a akumulátorové ruční utahovačky.

Ruční EC utahovačky se všeobecně používají na bezpečnostní šroubové spoje. Jsou to elektronicky řízené a elektricky poháněné utahovací nástroje s elektronicky ovládaným utahovacím vřetenem. Ruční EC utahovačky jsou programovatelné podobně jako utahovací vřetena utahovacích zařízení. Programováním jsou určeny požadované parametry dotáhnutí – dotahovací moment a úhel dotažení. Správné dotažení šroubového spoje je signalizováno LED diodami umístěnými na utahováku.

Ruční EC utahovačka použitá v op. 1705 - Montáž palivové nádrže je od firmy Cleco (dříve DGD) DGD 47 EA 135 HM4. Jedná se o robustní utahovačku s pravoúhlou hlavicí ukončenou 14mm čtyřhranem. Pohonem je bezkartáčový stejnosměrný motor, utahovací moment je řízený s měnícím se úhlem dotažení. Charakteristiky utahovačky jsou v následující tabulce:

Tab. 8. Charakteristika utahovačky DGD 47EA135MH4

Model	Rozsah momentu [Nm]	Max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
DGD 47EA135MH4	27 - 133	180	3,3

Další operací na taktu 45 je op. 1700 - Montáž středního držáku výfuku. Šroubový spoj je dotažen pneumatickou ruční utahovačkou Atlas Copco LTV 37 SR 007-10.

Pneumatické ruční utahovačky Atlas Copco jsou všeobecně vhodné pro přesné vysokorychlostní utahování se zaručenou neměnnou přesností utahování, bez vlivu typu spoje a kolísání tlaku vzduchu. Vestavěná spojka vždy dotáhne spoj na nastavený moment. Větší část zpětného rázu je zachycena setrvačností nástroje díky rychlému vypnutí spojky. Konkrétní utahovačka LTV 37 SR 007-10 (obr. 20) je vybrána z řady zatahovaček s nejvyšší spolehlivostí při utahování šroubů M 8 a M10. Je vysokorychlostní a reverzibilní.

Tab. 9. Charakteristika utahovačky LTV 37 SR 007-10

Model	Rozsah momentu [Nm]	Max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
LTV 37 SR 007-10	15 - 30	700	1,7

Totožná utahovačka je použita i v **následujícím taktu montážní linky – pracovní pozici 46** - op. 1715 - Montáž zadního držáku výfukového potrubí.



Obr. 20. Pneumatická ruční utahovačka LTV 37 SR 007-10

Zajímavým konstrukčním bodem na tomto taktu je utahovací zařízení pro utahování šroubových spojů v op. 1720 - Montáž šroubů ramen zadní nápravy (obr. 21) Šrouby jsou utahovány v ose utažení vychýlené o 15 stupňů oproti svislé ose a jsou umístěny v malé vzdálenosti od sebe. Pohyb utahovačky ve svislém šikmém směru a též pohyby v osách X a Y jsou realizovány po kluzných vodících lištách silou vyvinutou pracovníky. Přesné místo utahování je dáno dorazy. Pohyb ve svislém směru je posílen připevněním držáku utahovačky za lano pružinového vyvažováku ve směru osy šroubování.



Obr. 21. Manipulátory pro dotažení ramen zadní nápravy

Vlastní utahování je realizováno EC utahovačkou Atlas Copco ETP S9 - 320 – 20 řady Tensor S (obr. 21), která je určena pro aplikace s mezní bezpečností. Je zde splněn požadavek na sledování hodnoty momentu, který je zaznamenán pro potvrzení utažení montážního prvku specifikovaným momentem. Utahovačka ETP S S9 - 320 – 20 je konstruována s pistolovou rukojetí pro uchopení oběma rukama a pro aplikace s upnutým nářadím, jako je tomu u této operace. Vzhledem k tomu, že utahovačka je pevně upnuta v tělese utahovacího zařízení, je vybavena teleskopickým vřetenem pro zabezpečení správného najetí na šroub.

Tab. 10. Charakteristika utahovačky ETP S9 - 320 – 20

Model	Rozsah momentu [Nm]	Max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
ETP S9 - 320 – 20	50 - 200	370	6,5

**Dále následuje pracovní pozice 47** – Spuštění montážního rámu – automatická operace – sjetí montážního rámu je provedeno hydraulickým nůžkovým spouštěcím stolem, karoserie s přimontovaným podvozkem je nesena závěsem a pokračuje konstantní rychlostí po lince. Po tomto spuštění pokračují operace zástavby pod smontovanou karoserií s podvozkem, utahovány jsou ty šroubové spoje, které byly nedostupné při zvednutém rámu s podvozkem.

**Pracovní pozice 48 –**

vykonávaná pracovní operace: 1730 - Dotažení šroubů momentové vzpěry.

Dotažení dvou šroubových spojů provádí pracovník ruční zatahovačkou firmy Cleco - DGD 47 EA 175 AX5, (obr. 22). Jedná se o robustní utahovačku s pravoúhlou hlavici. Pohonem je bezkartáčový stejnosměrný motor, utahovací moment je řízený s měnícím se úhlem dotažení. Charakteristiky utahovačky jsou v tabulce:

Tab. 11. Charakteristika utahovačky ETP S9 - 320 – 20

Model	Rozsah momentu	Max. otáčky	Hmotnost
	[Nm]	[min <sup>-1</sup> ]	[kg]
DGD 47EA 175 AX5	36 - 176	130	4,6



Obr. 22. Uťahovačka DGD 47 EA 175 AX5

Konkrétním detailním rozбором tohoto pracoviště se zabývám v další část DP –kap. 4.1, část: Rozbor limitující op. 1730 – utahovací technika.

Další operace na taktu 48 je operace 1765 - Montáž příček karoserie. Příčkami karoserie jsou ve skutečnosti dvě plechové výztuhy, které zakrývají zespoda karoserie tunel podlahy s namontovanými trubkami výfuku. Pracovník provádějící tuto operaci nejprve ustaví postupně příčky na závitové čepy a zachytí je maticemi. Ty pak dotáhne EC utahovačkou Atlas Copco ETV S7 - 30 – 10. Jedná se o elektrickou utahovačku šroubových spojů s pravoúhlou utahovací hlavou řady Tensor S určenou pro utahování šroubových spojů s mezní bezpečností, u kterých existuje požadavek na sledování hodnoty momentu; tyto hodnoty mohou být zaznamenány pro potvrzení o utažení montážního prvku specifikovaným momentem.

Operace 1732 - Montáž tepelné clony kloubového hřídele je prováděna též pod karoserií vozu v motorovém prostoru. Ustavenou tepelnou clonu pracovník zachytí šroubem a dotahuje vzduchovou utahovačkou Atlas Copco LTV 37 SR 007-10. Jedná se o pneumatickou vypínací reverzibilní utahovačku s velikostí výstupního čtyřhranu 3/8“.

V operace 1745 - Montáž šroubu tep. clony - je prováděno zachycení a utažení samořezného šroubu utahovačkou Makita 6702 D, (obr. 23). Jedná se o reversibilní úhlový

AKU - šroubovák s 5 stupni utahovacích momentů. V tělese utahovačky je vestavěné osvětlení utahovaného spoje, které se zapíná automaticky po nastartování motoru. Osvětlení trvá ještě po dobu 10 sekund po vypnutí motoru.



Obr. 23. Makita 6702 D

Poslední popisovanou operací linky „zástavby podvozku do karoserie“ je operace 1770 - Spojení před. a zad. části brzd. potrubí. Vzhledem k tomu, že v této operaci je prováděno spojení potrubí převlečenými maticemi do spojky, je pro tuto operaci zvolena utahovačka firmy CLECO - PNEU 35 TNAL 5-6. Jedná se o úhlovou utahovačku s otevřeným koncem a s ovládáním utahovacího momentu. Otevřený konec nabízí možnost utahování trubkových matic při montáži trubek hydraulického nebo pneumatického brzdového potrubí. Výkon je přenášen z pneumatického motoru na matici nebo šroub prostřednictvím ozubeného převodu bez rázů. Jednou rukou ovládaný dvoupolohový mechanismus umožňuje uvolnění objímky zpět do otevřené polohy. Parametry všech utahovaček použitých na taktu 48 jsou v tabulce 12.

Tab. 12. Charakteristiky utahovaček v taktu 48.

Model	Rozsah momentu [Nm]	Max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
DGD 47EA 175 AX5	36 - 176	130	3,6
ETV S7 - 30 - 10	6 - 35	910	1,6
LTV 37 SR 007-10	15 - 30	700	1,7
Makita 6702 D	2 - 7	400	1,4
Cleco PNEU 35 TNAL 5-6	15 - 30	150	2,3

Na výše uvedeného popisu montážních činností části montáže Škoda Octavia je vidět, že návrh utahovacího nářadí a zařízení není jednoduchou otázkou. Na 16ti operacích s 62 šroubovými spoji je použito celkem 13 různých druhů utahovadel. Jejich použití je dáno charakteristikami šroubových spojů, požadovaným způsobem dotažení, přístupností nástroje ke šroubovému spoji a velikostí hlavy šroubu.

Charakteristiky různých typů utahovacích nástrojů jsou popsány v následující části DP.

### **3.Charakteristika různých typů utahovacích nástrojů**

#### **3.1. Typy utahovacího nářadí**

##### **Pneumatické utahovací nářadí**

###### **Úderné šroubováky**

Tento typ nářadí je schopen utáhnout spoj velmi rychle a při práci vyvíjí jen minimální momentovou reakci. Přitom umožňuje dosažení velmi vysokých utahovacích momentů, aniž by bylo třeba zpomalit chod nástroje. Požadovaného utahovacího momentu je dosaženo pomocí několika rotačních rázů, jeho velikost je závislá na tlaku přiváděného vzduchu.

Při určitém stupni zapracování obsluhy a dle její zkušenosti s údernými utahovými lze dosáhnout vysoké přesnosti. Obecně lze říci, že přesnost tohoto nářadí je nižší než u ostatních typů utahováků, což lze zlepšit použitím mechanismu pro vypnutí utahovacího momentu. Zlepšení přesnosti utažení šroubového spoje lze u tohoto nářadí dosáhnout utahováním nejprve na nižší utahovací moment než je požadovaný a teprve potom dotáhnout pomocí kalibrovaného momentového klíče na konečný moment. Používá se především v opravárenských dílnách.

###### **Utahovky s hydraulickým úderným mechanismem,**

označované též jako „Ergo-pulsní“ nářadí. Stejně jako u úderné utahováků je spoj utahován velmi rychle a s malou zpětnou silou.

Princip ergo-pulsní utahovačky je v použití hydraulické pulzní jednotky, umístěné mezi pneumatickým motorem a výstupní hřídelí (obr. 24). Protože pulzy jsou

velmi krátké, na rukojeť nepůsobí téměř žádná zpětná síla a na ruku obsluhy je přenášen pouze malý moment motoru. Pulzní jednotka 50 až 100krát zvyšuje hodnotu momentu, který je generován motorem.



Obr. 24. „Ergo-pulsní“ utahovačka

System hydraulického rázu výrazně snižuje hlučnost i vibrace.

Tyto utahovačky pracují s vysokou utahovací přesností a je možné je vybavit vypínáním utahovacího momentu nebo časovým spínačem. Oba tyto mechanismy zabezpečují vysokou přesnost utahování. Pokud nástroj není vybaven tímto zařízením, je přesto možno dosáhnout vysoké přesnosti šroubového spoje, toto je však ovlivněno správným použitím a zkušeností obsluhy. Též je nutno zvážit, zda spoje utahované Ergo Pulse nářadím jsou vhodné pro tento typ utahování. Měkké spoje jsou utahovány pomalu a pokud není nástroj vybaven vypínáním, je možno jej vypnout před dosažením požadovaného utahovacího momentu.

### Úhlové a přímé utahováky (obr. 25)

Pokud je tvrdost spoje konstantní, dosahují tyto utahováky vysoké přesnosti. Jestliže se tvrdost spoje mění, dochází ke snížení přesnosti.

Výkon tohoto nářadí není ovlivňován kolísáním tlaku vzduchu. Pro zvýšení přesnosti utahování je možno použít nářadí s nízkou rychlostí otáčení. Přitom se však může značně prodloužit cyklus utahování. Řešením tohoto problému je použití dvourychlostního utahováku. Nejprve první motor šroubuje spojovací element vysokou rychlostí a jakmile naroste potřeba utahovacího momentu, ukončuje druhý motor zatažení redukovanou rychlostí. Tímto způsobem se dosáhne vysoké přesnosti a zároveň je cyklus utahování velmi rychlý.





Obr. 25. Úhlový a přímý utahovák

### **Utahovák s pneumatickým vypínáním**

Toto nářadí je dokonalejší verzi úhlových utahováků. Diferenční tlak je zde měřen přes vzduchový motor a při dosažení naprogramované úrovně uzavře automaticky uzavírací ventil přívod vzduchu.

Hlavní výhodou těchto nástrojů oproti úhlovým je, že se automaticky zastaví po dosažení konečného utahovacího momentu, což je jasným signálem pro obsluhu. Vzhledem k vypínacímu mechanismu je zpětná reakce při práci s tímto nářadím nižší ve srovnání s úhlovými utahováky.

### **Utahovák s mechanickou spojkou**

Toto nářadí využívá principu mechanické spojky, která se uvede v činnost v okamžiku dosažení naprogramované úrovně utahovacího momentu. Přesnost tohoto nářadí je velmi vysoká a změny tvrdosti spoje ji prakticky vůbec neovlivňují ani při vysokých rychlostech utahování.

Utahováky s mechanickou vypínací spojkou mají také další přednosti v tom, že zpětná reakce při jejich používání je malá u všech typů spojů kromě těch nejměkčích a také v tom, že kolísání tlaku nemá vliv na přesnost (za předpokladu, že tlak je dostatečný pro dosažení požadovaného utahovacího momentu). Hlavním nedostatkem tohoto nářadí je, že nelze rychle měnit nastavení utahovacího momentu. Pro opětovné seřízení mechanické spojky je třeba použít zařízení pro dynamické vyhodnocování utahovacího momentu.

## **Elektrické utahovací nářadí**

**Nízkonapětové elektrické šroubováky a utahovačky** šroubových spojů (obr. 26) jsou nástroje napájené ze sítě přes transformátor a usměrňovač. Jsou velmi často preferované pro utahování malých šroubů (M1 – M4) v průmyslových odvětvích, u nichž je primárním požadavkem čistota a pracovní prostředí s nízkou hlučností.



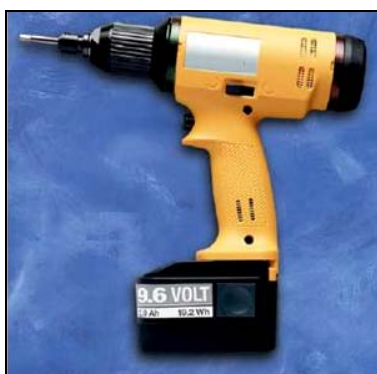
Nástroje jsou napájeny přes transformátor malým stejnosměrným napětím, což znamená, že zde nehrozí žádné riziko nebezpečného úrazu elektrickým proudem při práci, opravách nebo údržbě.



Obr. 26. Nízkonapěťový šroubovák s transformátorem

Kombinace mechanické spojky a elektrického vypínání poskytuje vynikající přesnost a opakovatelnost utahovacího momentu. Vysoké otáčky šroubováku (až 1000ot/min) jsou někdy kritické jak z hlediska nasazení pracovního nástroje, tak z hlediska bezpečného navedení šroubu. Tyto problémy mohou být eliminovány zvláštní řídicí jednotkou, která nabízí seřiditelné startovací otáčky a čas. Nízká hmotnost a malé rozměry jsou v protívěze s nízkým rozsahem momentu.

**Akumulátorové šroubováky a utahovačky šroubových spojů** (obr. 27) představují svojí konstrukcí výhodu volného pohybu bez omezování vzduchovou hadicí nebo elektrickým kabelem a bez rizika zachycení přívodní šňůry vysokého napětí.



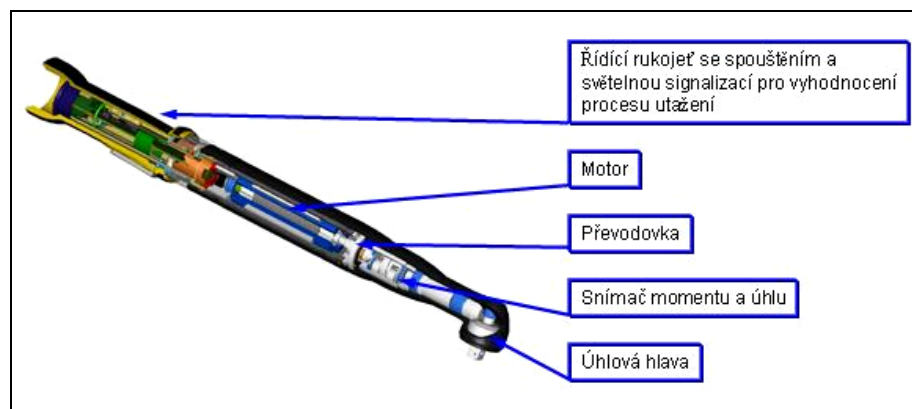
Obr. 27. Akumulátorový šroubovák

Z hlediska produktivity je pneumatické nářadí zpravidla upřednostňováno při průmyslových aplikacích vzhledem k příznivému poměru hmotnosti a výkonu pneumatického motoru. Avšak mnoho šroubových spojů se nejlépe utahuje akumulátorovým nářadím, které umožňuje volný pohyb podél montážní linky a nezávislost při práci uvnitř uzavřených prostor, např. ve vozidle. Využití

akumulátorových utahovaček je ovlivněno hmotností a kapacitou akumulátoru. Předpokladem pro efektivní využívání AKU nářadí je provozní životnost akumulátoru srovnatelná s jiným mechanickým nářadím. Elektronické ovládání motoru zajišťuje rychlé vypínání pro dosažení požadované přesnosti dotažení. Obsluha je o správném utažení informována rozsvícením světelného signálu na tělese utahovačky. Zelené světlo signalizuje správné utažení, blikající červené světlo označuje včasnou výstrahu pro nutné opětovné nabití.

### **Elektricky ovládané (EC) utahovačky šroubových spojů**

Vzhledem k potřebám průmyslových provozů lze říci, že elektricky řízené utahovačky (obr. 28) musí umět provést šroubové spojení různých velikostí s rozdílnými požadavky na parametry utažení. To je zaručeno vhodným spojením elektronického řídicího systému s výkonným motorem a konstrukcí tělesa utahovačky. Zároveň musí být zabezpečeny požadavky na bezpečnost a ergonomii práce. Kontrolky zajišťují detekci nesprávně utažených šroubů, řídicí systém zabezpečí provedení všech šroubových spojení v operaci.



Obr. 28. Hlavní části EC utahovačky

Pohonem EC utahovaček je stejnosměrný bezkartáčový motor.

Šroubováky jsou vyráběny s těmito hlavními uspořádáními: přímé šroubováky, pravoúhlé šroubováky a šroubováky s pistolovou rukojetí.

Elektrické ruční utahovačky šroubových spojů mohou být s pistolovou rukojetí, úhlové, lineární nebo lineární pro převlečné matice. Upnuté elektrické utahovačky šroubových spojů jsou konstruovány jako lineární nebo s pravoúhlou hlavou.

Pro použití v utahovacích zařízeních jsou zkonstruovány utahovací vřetena přímá nebo úhlová. U vícevřetenových utahovacích zařízeních je řídicím systémem též

kontrolováno přiřazení správného utahovacího momentu ke každému vřetenu. U dotažení jedné součásti s více šroubovými spoji umožňuje řízení současné dotažení všech spojů.

## **3.2. Měření utahovacího momentu ve výrobním procesu**

### **Statické vyhodnocení utahovacího momentu**

Této metody se používá při stanovení utahovacího momentu po upevnění šroubu (ručně nebo mechanickým nářadím). Existují dva způsoby statického vyhodnocení utahovacího momentu. První využívá „zpětného“ („západkového“) momentového klíče, který ukazuje dosažení minimální úrovně utahovacího momentu. Druhá metoda používá digitální momentový klíč, který ukazuje skutečnou hodnotu utahovacího momentu. Měření je možno provádět na všech spojkách nebo jen na vzorku – potom se provádí statistická analýza. Při použití moderních momentových klíčů jdou naměřené údaje přímo do počítače a umožňují tak okamžitý statistický přehled. Obě metody mají své výhody. Vložené náklady jsou nízké a jeden pracovník může zkontrolovat více spojů. Pokud jde o prokluz, obě metody jsou vhodné pro měření až po stabilizování prokluzu. Tyto metody mají však také některé nevýhody. „Zpětný“ momentový klíč ukazuje pouze dosažení minimální hodnoty utahovacího momentu, nelze však z něj zjistit přetažení šroubu.

Digitální momentový klíč se používá pro měření skutečného utahovacího momentu, ale naměřené hodnoty jsou závislé na subjektivním posouzení osoby – obsluhy – která měření provádí. Při měření skutečného utahovacího momentu touto metodou dochází k poruše spoje, zatímco šroub zůstane zatažen.

Kromě výše uvedených skutečností znamenají oba tyto způsoby měření operaci navíc a také jsou zdlouhavé v případě velkosériové výroby, kdy je třeba prověřit každý spoj.

## **Nastavení utahovacího momentu pomocí „kluzného“ momentového klíče**

Přesto, že se jedná vlastně o metodu utahování a ne měření utahovacího momentu, je zařazena do tohoto oddílu. Jedná se totiž o technologii, pomocí které lze dosáhnout velmi přesného nastavení utahovacího momentu. Při tomto postupu je šroub obvykle pomocí mechanického nářadí utažen těsně pod konečnou hodnotu utahovacího momentu. Pomocí „kluzného“ momentového klíče (jedná se o přesné nářadí se spojkou, která se při působení předem nastaveného utahovacího momentu proklouzne) pak operátor dotáhne šroub až na konečnou hodnotu utahovacího momentu.

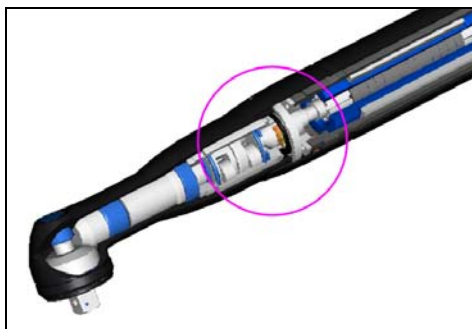
Tato metoda umožňuje obsluze utáhnout pomocí jednoduchého mechanického nářadí větší množství šroubů. Nevýhodou však je, že i tento způsob je ve výrobě operací navíc. Kromě toho používání ručního nářadí pro nastavení konečného utahovacího momentu, zvláště u větších hodnot, může být pro operátora namáhavé. Z toho vyplývá, že ani tato metoda není vhodná pro velkovýrobu. Vzhledem k tomu, že tato technologie je závislá na obsluze, lze též provádět statické vyhodnocení utahovacího momentu jako výstupní kontrolu.

## **Dynamické sledování utahovacího momentu**

Moderní utahovací nástroje s vysokou přesností jsou schopné dosáhnout přesného utahovacího momentu šroubů. Pokud jsou šroubové spoje utažené těmito nástroji následně kontrolovány pomocí statického vyhodnocení utahovacího momentu, je pravděpodobné, že vyhodnocovací proces negativně ovlivní kvalitu spoje!

Správnější je proto kontrola utahovacího momentu pomocí metody **dynamického sledování utahovacího momentu**. V tomto případě je momentový snímač (zabudovaný přímo v nástroji nebo zapojený mezi nástroj a nástrčný klíč) připojen k monitorovací jednotce, která potom zaznamenává utahovací moment během utahování (obr. 29).

Tato metoda má celou řadu výhod. Utahovací moment je možno sledovat bez narušení výrobního procesu, není třeba žádné operace navíc. Nedochází k přetěžování obsluhy, vysoké utahovací momenty lze snadno a s velkou přesností sledovat.

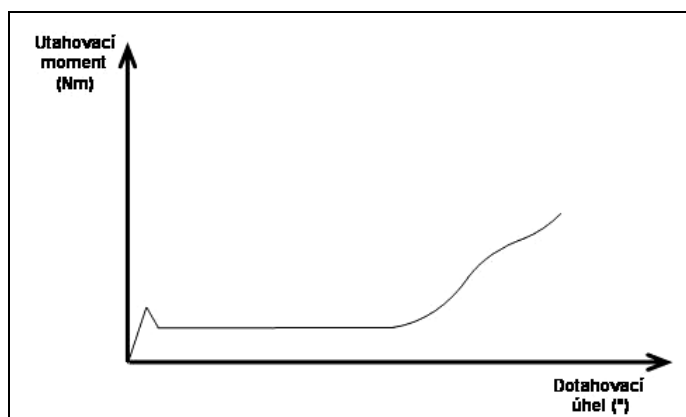


Obr. 29. Integrovaný snímač momentu v utahováku

Tento postup je ideální tam, kde je nutno kontrolovat každé utahování spoje. V tomto případě se doporučuje použít nářadí se zabudovaným snímačem utahovacího momentu.

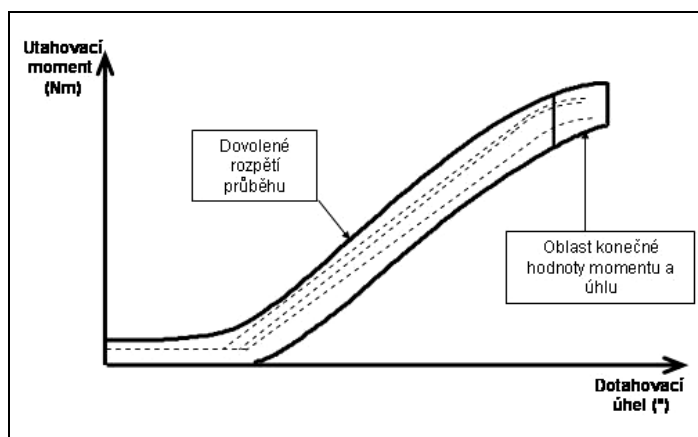
### **3.3. Kontrolní metody procesu utahování**

Dříve než je možno se zabývat metodami kontroly utahovacího procesu, je třeba uvést charakteristiku šroubového spoje provedeného utahovákem. Již výše v kapitole 2.1. bylo uvedeno, že spoje se dělí podle tvrdosti (měkké a tvrdé) a podle torzní tuhosti (na „tuhé“ a „slabé“ v krutu). V závislosti na konkrétních vlastnostech spoje se tyto faktory prolínají, takže jednotlivé spoje montážního celku mají individuální charakteristiky utahování. Utahovací křivku klasického spoje ukazuje následující obrázek:



Obr. 30. Průběh utahovací křivky

Vzhledem k tomu, že tření a tuhost spoje vždy poněkud kolísá (vlivem povolených úchylek ve výrobě), každý spoj má určité rozpětí pro utahování (obr.31), do kterého spadají všechny povolené odchylky.



Obr. 31. Rozpětí povolených odchylek utahovací křivky

Toto je základní koncepce pro metody kontroly a řízení popisované v následující kapitole.

## **Komponenty a přístroje používané pro kontrolu utahovacího procesu**

### **1. Snímač utahovacího momentu**

Jedná se o přístroj, který vytváří elektrické napětí úměrné působícímu utahovacímu momentu. V běžné praxi se používají dva základní typy snímačů utahovacího momentu – rotační (výměnný) a pevný.

**A) Rotační snímače** (na obr. 32 vlevo) se používají většinou jako přenosná zařízení namontovaná mezi nástrčný klíč a nástroj. Utahovací moment se měří na dřívku spojujícím nástroj a šroub. Při napojení na stabilní monitorovací jednotku je třeba použít sběracích kroužků, které vyžadují pravidelnou údržbu, protože opotřebení by mohlo způsobit problémy.

Také snímač musí být konstruován tak, aby nereagoval citlivě na vibrace a neovlivnil tak výstupní hodnoty. Tyto snímače nejsou vhodné pro ty případy, kdy se požaduje nepřetržitá kontrola utahovacího procesu.



Obr. 32. Rotační a pevný snímač utahovacího momentu

**B) Pevný snímač** (na obr. 32 vpravo) měří skutečný utahovací moment na nepohyblivé části nástroje (obvykle vnitřní ozubení), která je vystavena působení utahovacího momentu a odporu a také momentu, který otáčí šroubem. Jakmile jsou tyto snímače namontovány, nevyžadují prakticky žádnou údržbu a jsou proto vhodné pro nepřetržitou kontrolu utahovacího momentu. Pevný snímač by měl být umístěn co nejbližee zástrčkového klíče nástroje. Jakékoli převody nebo spoje mezi snímačem a šroubem mohou negativně ovlivnit přesnost kalibrování utahovacího momentu nebo napětí. U takových nástrojů, jako jsou úhlové utahovák, je třeba pravidelně kontrolovat (pomocí rotačního snímače), zda změny tření v hlavici neovlivnily kalibraci.

Poměr mezi utahovacím momentem působícím na snímač a výstupním napětím lze pokládat za lineární. Tyto snímače mají velmi rychlý vlastní čas a v praxi je odezva okamžitá.

## 2. Úhlový snímač

Jedná se o elektronické zařízení, které při otočení o určitý úhel vysílá elektrické impulsy. Tento pohyb je možno demodulovat magneticky nebo opticky. Úhlové snímače jsou většinou pevnou součástí nástroje. Běžně se používají dva typy snímačů. První z nich je integrovaný přístroj, poháněný ozubeným kolem namontovaným na hnací hřídeli nástroje. Druhý typ má stabilní čidlo, které zaznamenává otáčení magnetických součástí namontovaných na hnací hřídeli. Vzhledem k tomu, že počet impulsů za 1 otáčku snímače je neměnný a při výpočtu stupňů se snímač otočí o plných 360° nástrčného klíče, je možné provést kalibraci jednotky tak, že se změří rotace

Jedná se o velmi rozšířený typ monitorovací jednotky používané se snímači utahovacího momentu (obr. 33). Tento typ je vhodný pro připojení jak k rotačnímu, tak k pevnému snímači. Základní jednotka se skládá z technického vybavení pro dodávku proudu pro snímač utahovacího momentu, pro zesilování a měření výstupu snímače a pro vizuální zobrazení úrovně utahovacího momentu. Tento přístroj může kontrolovat pouze koncový utahovací moment, na který je šroub utažen (výstupní hodnoty snímače mohou být přenášeny na tiskárnu, ale pouze pro výzkumné, nikoli provozní účely).

Při použití analogové metody je přesto možné uložit do paměti omezené množství informací o procesu utahování (využitelných pro kontrolu prostřednictvím PC). Existují také přístroje, které mohou identifikovat utahování i mimo předem určené hranice utahovacího momentu. Pokud utahovací moment překročí tuto mez, upozorní obsluhu optický nebo zvukový signál (vhodné prakticky pro všechny oblasti kontroly utahovacího momentu).



Obr. 33. Analogová momentová monitorovací jednotka

Prostřednictvím převáděcí jednotky (např. Analog/digitální měniče), která může být zabudována v monitorovací jednotce, lze výsledek každého utahování přenést na tiskárnu, počítač nebo do paměti za účelem další analýzy.



#### **4. Momentová monitorovací jednotka napojená na počítač**

Toto zařízení je současně analogovou monitorovací jednotkou, konvertorem a počítačem. Má schopnost shromažďovat údaje o utahování a provádět podrobnou analýzu výsledků (např. PC výpočty). Tato monitorovací jednotka může také poskytovat informace o utahování pro jiné systémy (např. sběr informací o utahování při prověřování spolehlivosti výrobku). Tyto přístroje jsou obvykle vybaveny standardním výstupem pro napojení na ostatní systémy.

#### **5. Momentová a úhlová monitorovací jednotka napojená na počítač**

Je to dokonalejší verze předchozího přístroje. Toto zařízení sestává z technického vybavení úhlového snímače a převáděcí jednotky pro přeměnu impulsů na výstup do podoby „čitelné“ pro počítač. Kalibrace a měření úhlu musí být provedeny prostřednictvím počítačového programu, protože údaje o úhlu jsou ve formě impulsů.

S tímto systémem lze sledovat a analyzovat vlastnosti spoje velmi podrobně. Stejně jako u předchozího přístroje se informace shromažďují a analyzují přímo v jednotce nebo se předávají jiným systémům.

### **3.4. Kontrola parametrů dotažení a metody řízení**

#### **Kontrola utahovacího momentu**

Z výše uvedeného vyplývá, že utahovací moment je nejrozšířenější parametr pro kontrolu procesu utahování. V případě sledování každého spoje se doporučuje použít montážní nářadí vybavené pevným snímačem utahovacího momentu. V praxi se však většinou připojí přenosný rotační snímač utahovacího momentu na přenosnou analogovou monitorovací jednotku. Tímto způsobem lze shromažďovat údaje o velkém množství spojů pro pozdější vyhodnocení na PC. Pokud se zájem soustředí pouze na určitý spoj, lze zaměřit celý kontrolní systém pouze na výsledky utahování tohoto spoje.

Tento systém (snímač momentu a analogová monitorovací jednotka) je obvykle vybaven vizuálním nebo zvukovým signálem, který upozorní obsluhu na překročení nebo nedodržení předem stanovených mezí utahovacího momentu. U tohoto systému je možno kontrolovat (pokud má montážní dílna vlastní kontrolu) počet bezchybně

provedených spojů a současně tak zajistit, aby dílnu opouštěly montážní celky s předepsaným počtem těchto bezchybných spojů.

Používání monitorovací jednotky napojené na počítač má řadu výhod. Je možné analyzovat proces utahování a komunikace s jinými systémy je mnohem snazší. Tyto jednotky mohou sledovat velký počet různých druhů spojů a ukládat a vyhodnocovat informace o každém jednotlivém spoji. Pokud však sledujeme pouze utahovací moment, nedá se vyloučit chyba při utahování spoje. Pracovník může např. utáhnout stejný spoj dvakrát a přesto nemusí být správně utažen. Pokud je vada ve spoji a není dosažena správná svěrná síla, touto metodou se chyby nezjistí, jestliže není dosažen předpokládaný koncový utahovací moment.

Metoda sledování – kontroly samotného utahovacího momentu má však výhodu v tom, že na rozdíl od kontroly utahování prostřednictvím momentu a úhlu se pracuje s jednoduchými nástroji a utahování se nemusí věnovat zvláštní pozornost.

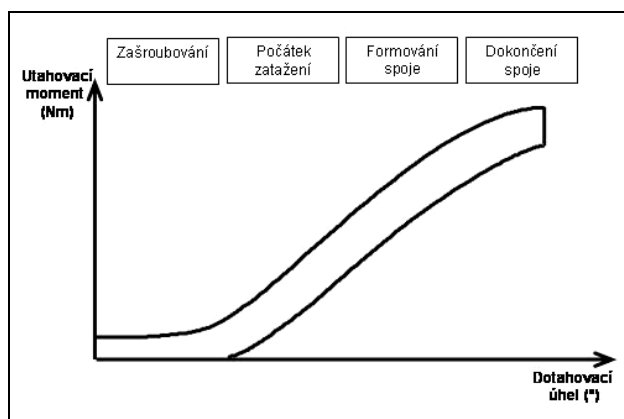
## **Kontrola utahovacího momentu a úhlu**

Tato metoda umožňuje kontrolu správného provedení každého spoje. Používá se při ní nářadí vybavené jak snímačem utahovacího momentu, tak i úhlu, které je současně spojeno s monitorovací jednotkou pro kontrolu momentu a úhlu. Jak bylo již řečeno v kapitole 3.3. (obr. 31), každý spoj má vlastní profil utahování v rámci určité tolerance. Při programování počítače, na který je napojena monitorovací jednotka, vlastně určujeme parametry pro tyto tolerance. Tím dochází při nepřetržitém sledování aktuálních údajů o utahování ke kontrole provedení každého spoje prostřednictvím počítače. Tak jako v předchozích případech mohou být výsledky utahování vyhodnoceny a uloženy do paměti v monitorovací jednotce nebo předány jinému zařízení pro další analýzu.

Tento systém kontroluje celý proces utahování a zajišťuje u každého spoje správné utažení odpovídající normě. Je však nutno dodržet jedno důležité pravidlo. Nářadí musí být během utahování upevněno, jinak může snadno dojít ke zkreslení údajů, např. pohybem operátora při nasazení nástroje. Pokud nástroj není regulován, je třeba zvětšit rozpětí pro úhly, což poněkud snižuje výhodu kontroly momentu a úhlu. Tento systém může i při poměrně značném rozpětí tolerancí identifikovat závažné chyby, například jestliže je jeden a týž šroub utahován podruhé.

## **Princip kontroly utahovacího momentu a úhlu**

V tomto oddílu je naznačeno, jak funguje program v monitorovací jednotce. Nejprve je třeba si definovat jednotlivé fáze formování spoje (obr. 34).

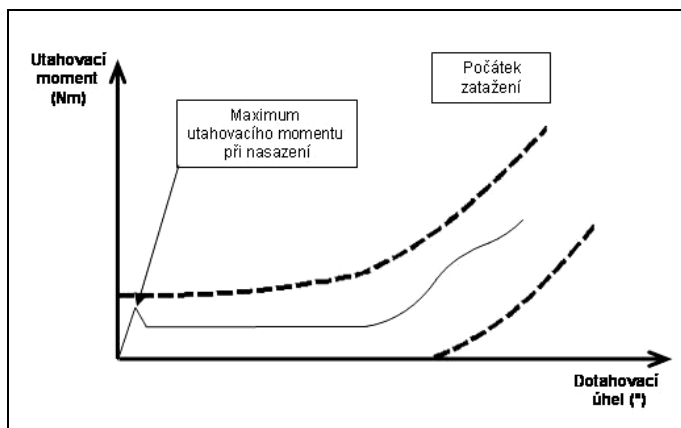


Obr. 34. Fáze formování spoje

### **1. Fáze zašroubování od počátku zatažení**

Zašroubování představuje v procesu utahování úsek od prvního otočení šroubu až po začátek působení svěrné síly – tj. patovou úroveň. Tato část cyklu se obvykle nesleduje, protože je obtížné zjistit, o kolik stupňů se šroub otočil před dosažením patové úrovně. Pokud se však vyžaduje kontrola této fáze, lze ji provést měřením doby uplynulé od nasazení nářadí (pozná se dle otočení úhlového snímače) až po bod, kdy je dosaženo patové úrovně. Fáze počátku zatažení se počítá od doby, kdy již začíná působit svěrná síla. Jakmile se dosáhne patové úrovně, začne se zvětšovat utahovací moment. Při naprogramované úrovni počátečního utahovacího momentu (obvykle 5-20% předpokládané koncové hodnoty utahovacího momentu) nastává úplná kontrola momentu a úhlu.

Na obrázku 35 je zřetelně vidět, že při nasazení nářadí nastane počáteční maximum utahovacího momentu, horní mezní křivka musí začít vždy nad tímto vrcholem utahovacího momentu.



Obr. 35. 1. fáze zašroubování

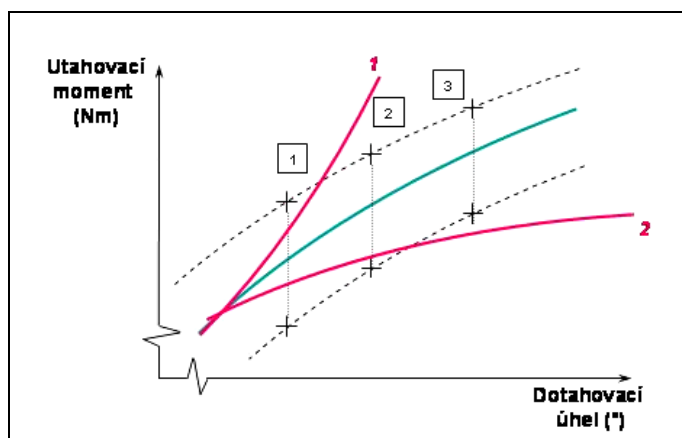
## 2. Fáze formování spoje

V této části cyklu jsou části spoje stlačovány, zvětšuje se svěrná síla a spoj se začíná formovat. Monitorovací jednotka porovnává údaje o utahovacím momentu a úhlu a kontroluje chyby. Právě v této fázi lze zjistit takové chyby, jako je nadměrné tření ve spoji nebo nesprávně smontované komponenty.

Všeobecně se používají dvě základní metody kontroly této části utahovací křivky – sledování odchylky a sledování momentového poměru.

### a) Sledování odchylky

U této metody se používá kontrolních „stanic“, z nichž každá je definovaná dvěma body. Tyto body jsou dány utahovacím momentem a odpovídající hodnotou úhlu. Utahovací křivka musí procházet těmito stanicemi, jinak to znamená chybu. Utahovací křivku sledovat buď při každém otočení o  $1^\circ$  nebo pouze v několika jejích bodech.

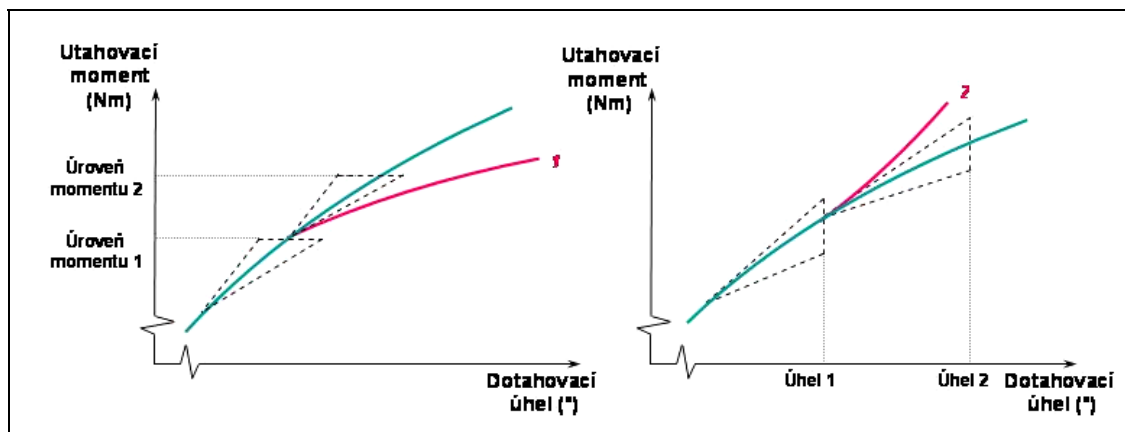


Obr. 36. Metoda kontroly utahovací křivky – sledování odchylky

Na obr. 36 je zelenou čarou zobrazen průběh utahovací křivky v rámci mezních hodnot, červené čáry označují chybné průběhy. Příklad průběhu **1** (utažení mimo mezní hodnoty ve 2. kontrolní stanici) ukazuje na chybu způsobenou nestandardním šroubem, který dosáhl meze kluzu před zformováním spoje. Na příkladu **2** (utažení mimo mezní hodnoty ve 3. kontrolní stanici) je znázorněn prudký vzestup utahovacího momentu, způsobený např. chybou vnitřního závitu spoje.

#### b) Kontrola momentového poměru

Tato metoda se používá při kontrole sklonu utahovací křivky poté, co byl naprogramován utahovací moment nebo úhel. Pokud dojde k odchylce křivky za mezní hodnoty, nastává chyba.

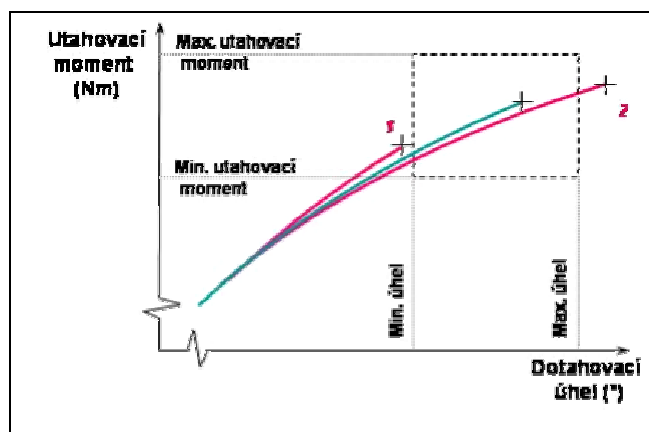


Obr. 37. Metoda kontroly utahovací křivky – sledování momentového poměru

Na obr. 37 jsou zeleně vyznačené správné průběhy utahování, při nastavení hodnoty utahovacího momentu (vlevo) nebo po nastavení hodnot úhlu (vpravo). Příklad průběhu **1** (utažení mimo mezní hodnoty ve 2. bodu monitorování) ukazuje na chybu způsobenou nestandardní součástí, např. pružnou podložkou. Na příkladu **2** je znázorněna chyba, kdy byla nějaká součástka vynechána, např. těsnící vložka.

### 3. Dokončení spoje

Koncový utahovací moment a úhel se musí pohybovat v rámci tolerančního pole (obr 38). Pokud tomu tak není, nastala chyba.



Obr. 38. Koncový dotahovací moment

Na příkladu **1** je znázorněna chyba způsobená nízkým tlakem vzduchu pro vzduchový utahovák, popř. velkým třením v závitech, příklad průběhu **2** ukazuje na chybu způsobenou nesprávným nastavením spojky na nářadí a mechanickou spojkou.

## **Metody řízení**

Pokud máme možnost provádět momentovou a úhlovou kontrolu, můžeme využívat údaje o utahovacím momentu nebo o utahovacím momentu a úhlu pro nastavení nářadí.

U vzduchových utahováků stačí přidat elektromagnetický ventil se silovým obvodem, aby se monitorovací systém stal řídicím. U mechanického nářadí s elektrickým pohonem často není dodatečné technické vybavení třeba.

S řídicím systémem se proces utahování sleduje stejným způsobem, jaký byl popsán v kapitole 3.4., v části Princip kontroly utahovacího momentu a úhlu. Novým prvkem je však to, že pokud utahovací křivka překročí předem stanovené mezní hodnoty, nástroj se automaticky zastaví a tím se zabrání poškození částí stroje.

Hlavním problémem při používání regulovaného nářadí je tzv. „přetažení“. K tomu dochází při zpoždění způsobeném časovým rozdílem mezi aktivací elektromagnetického ventilu a ztrátou energie motoru. Toto zpoždění způsobuje, že energie je spoji dodána ještě v okamžiku vypnutí. Pokud je spoj konzistentní, tak se „přetažení“ dá předem stanovit a podle toho určit okamžik uzavření elektromagnetického ventilu. Existují však také metody, které mohou riziko „přetažení“ snížit.

Elektromagnetický ventil by měl být namontován co nejbližší motoru – tím se zmenší zpoždění. Pro řídicí operace se doporučuje použít nářadí s co nejnižší rychlostí utahování.

U pneumatického nářadí je také možné nastavit tlak vzduchu tak, aby byl nástroj v okamžiku uzavření ventilu jen těsně nad kritickou rychlostí (vhodné zejména pro středně tvrdé spoje).

U moderního mechanického nářadí s elektrickým pohonem je „přetažení“ již menším problémem, protože regulace pohonu motoru je rychlá a může také motor elektricky zablokovat.



Obr. 39. Řídící jednotky momentu a úhlu

Řízení a regulace nářadí prostřednictvím sledování utahovacího momentu a úhlu má celou řadu výhod:

- Mnoho různých typů spojů může být utaženo jedním nástrojem.
- Jestliže je impulsem pro uzavření elektromagnetického ventilu hodnota úhlu, umožňuje to velmi dobrou kontrolu rozptylu svěrné síly (změny tření mají jen malý vliv).
- Teoreticky je možné prostřednictvím ručního nářadí dosáhnout meze kluzu šroubu, což představuje nejlepší kontrolu svěrné síly. V praxi se však tato metoda používá jen tehdy, když je utahovák pevně spojen s manipulátorem.

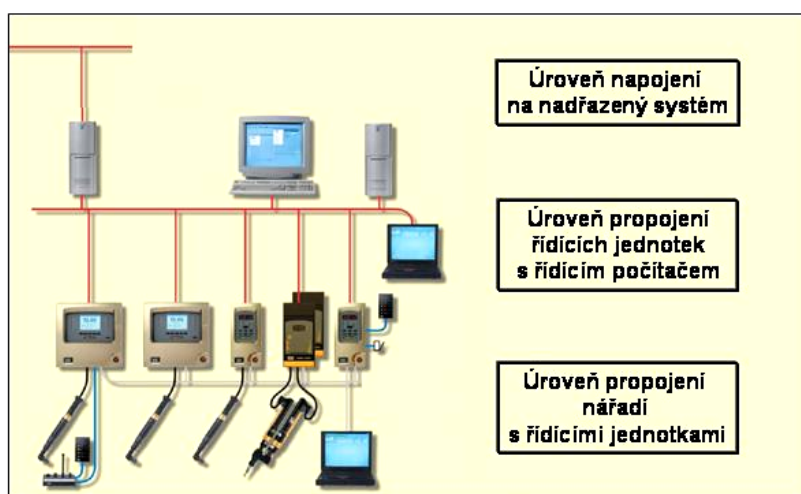
Jestliže používáme ke kontrole nářadí údaje ze sledování úhlu, je důležité, aby v průběhu utahování bylo nářadí fixní. Přinejmenším je třeba použít zpětné reakční tyče pro zachycení reakce nástroje, ale vhodnější je kloubové rameno.

## **Napojení na jiné systémy**

Z předchozích kapitol vyplývá, že sebraná data je dále nutno přenést z monitorovací jednotky na jiné systémy. Nejrozšířenější je napojení monitorovací jednotky pouze na jeden přístroj (např. tiskárnu). V takovém případě je komunikace poměrně snadná a stačí použít standardních výrobků. Stále častěji však dochází k situaci, kdy je monitorovací jednotka pouze jednou částí komunikační sítě (obr. 40).

V tomto systému mohou být další monitorovací jednotky nebo jiná zařízení. Příkladem takové sítě je např. závodová síť pro předávání identifikace výrobku jednotlivým utahovačkám za účelem nastavení správných parametrů utahování.

Pro použití v komunikační síti jsou vhodné monitorovací jednotky napojené na počítač. Mohou pracovat v „reálném čase“ a potom ukládat data do paměti, odkud mohou být využívána jinými zařízeními v síti. Informace mohou být uloženy v paměti v takové podobě, aby mohly být okamžitě přenášeny bez další úpravy. Monitorovací jednotka napojená na počítač může také získávat informace z jiných zařízení v síti. Tyto informace je možno využít například pro zjištění, jak se má utáhnout jiný typ spoje.



Obr. 40. Úrovně komunikačních sítí.

Všechny komunikační sítě, i ty jednoduché, však mají jeden problém. Zajistit, aby všechna zařízení v síti „rozuměla“ přenášeným informacím. U zařízení od více jak jednoho dodavatele je pravděpodobné, že pro správný přenos utahovacích dat bude nutno použít převodníkové konvertory. Nastavení komunikace sítě je často velmi obtížné a proto je nanejvýš vhodné přenechat vybudování komunikační sítě vždy odborníkům.



## 4. Návrh řešení mechanizace montáže

### 4.1. Současný stav

Ve druhé části DP, v kapitole „Stručný popis pracoviště zástavby“ (str.23) jsem uvedl popis části montážní linky Škoda Octavia s jejími jednotlivými operacemi. Z vypracovaného přehledu použitých utahovaček, uvedených v tab. 4 vyplývá, že jednotlivé šroubové spoje jsou zatahovány různými typy zatahovaček dle požadavků na kvalitu dotažení, dále dle velikosti šroubů a požadovaného momentu zatažení  $M_u$ .

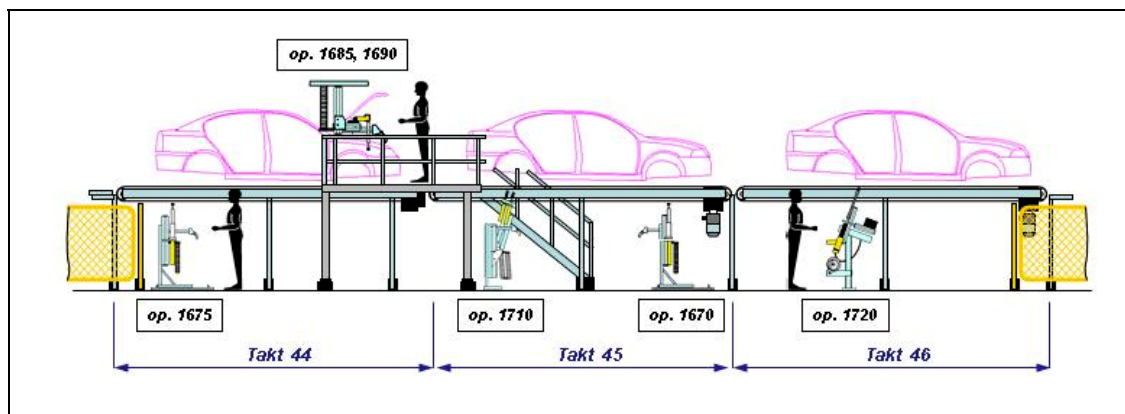
Z údajů uvedených v tab. 4 jsem zpracoval přehled (tab. 14), kde jsou utahovačky rozdělené na ruční (držené při utahování v ruce) a na utahovačky upevněné ve vhodných manipulátorech, které pneumatickým pohonem, popř. silou vyvolanou obsluhou, dosáhnou požadovaného najetí na šroubový spoj a potom provedou zatažení.

Tab. 14. Přehled pracovních operací s šedý označením při použití manipulátoru.

Takt	Č. op.	Název operace	šroub/matice	zatahovačka	moment $M_u$ [Nm]	úhel $\alpha$ [°]
44	1675	Šroubování zadní nápravy do karoserie - rámu	M12 x 1,5 x 95	EC	90 ± 9%	90 ± 15
44	1677	Zachycení šroubů lůžek zad. náp. do karoserie L + P	M10 x 35 AS		6	
44 P	1680	Montáž šroubů předních tlumičových jednotek L + P	M 8 x 26	EC	15 ± 15%	90 ± 15
44 P	1685	Montáž pružného lůžka na konzolu motoru	M12 x 1,5 x 70	EC	60 ± 15%	90 ± 15
44 P	1690	Montáž pružného lůžka na konzolu převodovky	M12 x 1,5 x 70	EC	60 ± 15%	90 ± 15
45	1670	Šroubování přední nápravy do karoserie	M12 x 1,5 x 100 M12 x 1,5 x 90	EC	70 ± 7	90 ± 15
45	1700	Montáž středního držáku výfuku	M 8 x 25	Pneu 17 ± 2,5 Nm		
45	1705	Montáž palivové nádrže	M 8 x 25	EC	20 ± 3	90 ± 15
45	1710	Šroubování zadních tlumičů do karoserie L + P	M 10 x 35 AS	EC	50 ± 15%	45 ± 15
46	1715	Montáž zad. držáku výfukového potrubí	M 8 x 18	Pneu 18 ± 2 Nm		
46	1720	Montáž šroubu ramen zadní nápravy	M 10 x 35 AS**	EC	50 ± 15%	45 ± 15
48	1730	Dotažení šroubů momentové vzpěry	M 10 x 35 M 10 x 75	EC	40 ± 15%	90 ± 15
48	1732	Montáž tepelné clony kloubového hřídele	M 10 x 28	Pneu 18 ± 2 Nm		
48	1745	Montáž šroubu tep. clony	samořez 5 x 16	AKU	20 ± 0,5	
48	1765	Montáž příček karoserie	M 8	EC	20 ± 2	
48	1770	Spojení před. a zad. části brzd. potrubí - spojka	M 10 x 1	Pneu 9,8 ± 1,4 Nm		

Pro přehlednost jsou operace prováděné utahovačkami pevně spojenými s manipulátorem označené šedou barvou řádku a manipulátory znázorněny na obr. 41.

Siluetu pracovníků jsou uvedeny pouze pro představení rozměrnosti pracoviště.



Obr. 41. Rozmístění utahovacích manipulátorů na lince „zástavby“

V operacích, u kterých je požadováno zatažení na moment větší než 50 Nm, byly pracoviště vybaveny utahovačkami s manipulátory. Důvodem je, že při těchto dotahovacích momentech je již reakce utahovaček tak velká, že není možné ji vyrovnávat pouhým držením v rukách.

Řešením je buď použití záchyty reakce, namontovaným na tělo utahovačky nebo umístění utahovačky (nebo vřetena) do manipulátoru. Záchyty reakce mohou být tzv. „katalogové“ (obr. 42) nebo speciálně navržené dle možnosti vzepření za vhodný montážní díl nebo rám. Reakční vzpěry jsou dodány dodavatelem utahovaček dle jednotlivých potřeb.



Obr. 42. Příklady reakčních tyčí

Manipulátory je vhodné použít především tam, kde jedním utahovákem je možno provést dotažení skupiny šroubů stejné velikosti se stejným požadavkem na dotahovací charakteristiky. Zároveň použitím manipulátoru je stoprocentně zabezpečeno přesné najetí zatahovací hlavice na osu šroubového spoje a tím zamezení poškození hlavy šroubu. Při použití utahovaček pevně upnutých na manipulátoru je zatahovací hlavice teleskopická pro správné usazení vřetena na hlavu šroubu.

## **Prověření kapacity stávajícího pracoviště**

Při požadavku na navýšení výroby vozů Škoda Octavia v únoru 2005 z 600 vozů / den na 660 vozů / den, bylo třeba zjistit schopnost pracovišť a zařízení používaných na montážní lince vyrobit požadovaný počet vozů. Ukazatelé, kteří vypovídají o možnosti vyrobit požadovaný počet vozů jsou: potřebný objem pracovníků na výrobním úseku a délka (dobu) výrobního taktu.

**Výrobní takt** (čas na provedení operací na jednom voze na jednom pracovišti)  $V_t$  [min/vůz], se dle metodiky Průmyslového inženýrství Škody Auto a norem spotřeby času vypočítá z času práce  $T_I$  [min], plánu výroby  $N$  [vozů/směnu] a v případě linkového pracoviště i možností nastavení rychlosti linky.

Čas práce  $T_I$  je vypočítán z času směny  $T$  [min], ponížený o čas zákonné přestávky na jídlo a oddech  $t_{c203}$  [min], a dále ponížený o čas ztrát  $T_Z$  [min], respektive technickoorganizačních ztrát  $T_E$  [min].

$$T_I = T - t_{c203} - T_E \quad (16)$$

$$T_t = T_I / N \quad (17)$$

Při  $T = 480$  min,  $t_{c203} = 30$  minut,  $T_E = 30$  min

a plánu výroby  $N_{(200)} = 200$  vozů/směnu (600 vozů /den) vychází:

$$T_t = (T - t_{c203} - T_E) / N_{(200)} = (480 - 30 - 30) / 200 = 2,1 \text{ min/vůz.} \quad (18)$$

Nejbližší vyšší nastavitelná rychlost linky je 2,08 min/vůz.

**Čas operací** jsem zjistil snímkem pracovní operace. Zpracoval jsem podrobné analýzy a doby trvání jednotlivých pracovních dějů (pohyby, úkony, strojní čas) jsem zjistil metodou pohybových studií s předem určenými časy MTM (Methods Time Measurement), konkrétně MTM-2 a UAS.

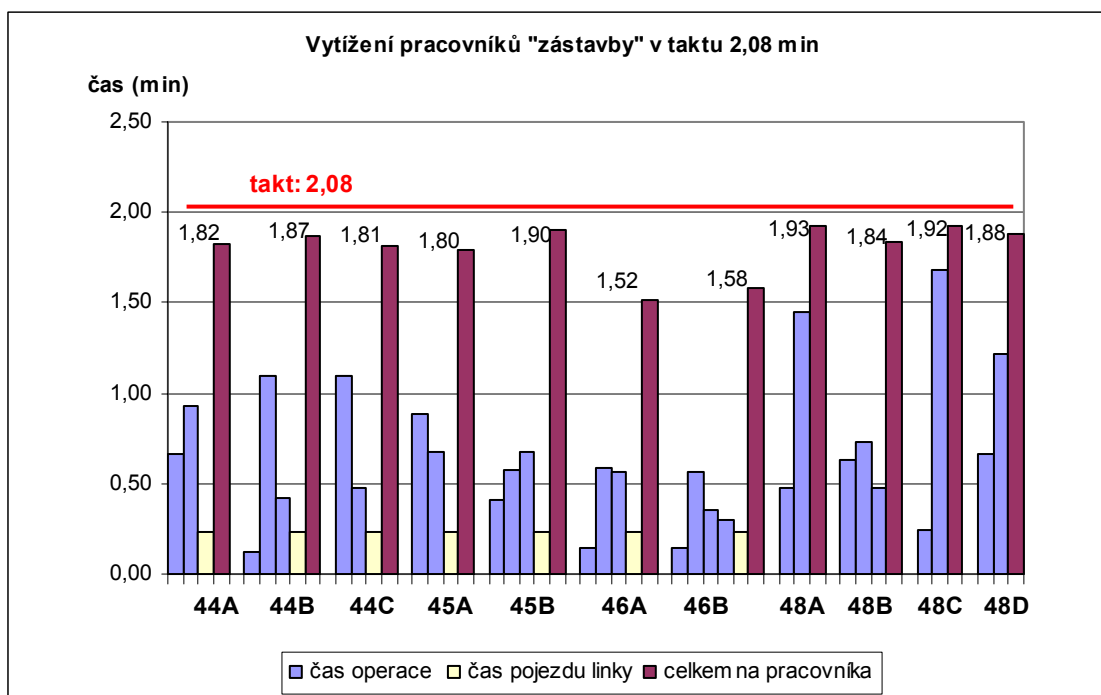
### **Potřeba pracovníků a norma obsluhy**

Norma obsluhy udává, kolik strojů nebo jiných výrobních zařízení má obsluhovat jeden pracovník, popř. kolik pracovníků, jakých profesí a s jakou kvalifikací je zapotřebí k obsluze daného výrobního zařízení.

V tabulce 15 uvádím výběr z normy obsluhy pro požadavek výroby 600 vozů/den a grafické vyjádření vytížení jednotlivých pracovníků v grafu 1.

Tab. 15. Výběr z normy obsluhy pro 600 vozů /den

Plán [vozy /den]: <b>600</b>		Takt [min]: <b>2,08</b>				
Takt: pracovník:	č. op.:	Název operace (krok):	t [min]	Σ [min]	počet	vytížení [%]
44 A	1675	Zašroubování zadní nápravy do karoserie	0,66			
	1677	Zachycení šroubů ramen ZN do karoserie	0,93			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,82	<b>1</b>	88
44 B na plošině	1665	Sejmutí čárového kódu karoserie	0,12			
	1680	Montáž šroubů předních tlumičů	1,1			
	1685	Montáž pružného lůžka na konzolu motoru	0,42			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,87	<b>1</b>	90
44 C na plošině	1680	Montáž šroubů předních tlumičů	1,1			
	1690	Montáž pružného lůžka na konzolu převodovky	0,48			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,81	<b>1</b>	87
45 A	1670	Zašroubování přední nápravy do karoserie	0,89			
	1710	Šroubování zad. tlumičů do karoserie (levá str.)	0,68			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,80	<b>1</b>	86
45 B	1700	Montáž středního držáku výfuku - pásu nádrže	0,41			
	1705	Šroubování nádrže do karoserie	0,58			
	1710	Šroubování zad. tlumičů do karoserie (pravá str.)	0,68			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,90	<b>1</b>	91
46 A	1712	Uvolnění pružin zadní nápravy (levá strana)	0,14			
	1715	Montáž zadního držáku výfukového potrubí	0,59			
	1720	Montáž šroubů ramen zadní nápravy (levá str.)	0,56			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,52	<b>1</b>	73
46 B	1712	Uvolnění pružin zadní nápravy (pravá strana)	0,14			
	1720	Montáž šroubů ramen zadní nápravy (pravá str.)	0,56			
	1740	Doražení příchýtek tepelných clon na rámu	0,35			
	1750	Zapojení palivového potrubí	0,30			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,58	<b>1</b>	76
48 A	1742	Doražení příchýtek tepelných clon	0,48			
	1765	Montáž příček karoserie	1,45	1,93	<b>1</b>	93
48 B	1730	Dotažení šroubů momentové vzpěry	0,64			
	1775	Zapojení el. vedení lambda sond a montáž krytu	0,73			
	1780	Ustavení lan ruční brzdy do lanovodů	0,47	1,84	<b>1</b>	88
48 C	1745	Montáž šroubů tepelné clony	0,24			
	1770	Spojení přední a zadní části brzdového potrubí	1,68	1,92	<b>1</b>	92
48 D	1732	Montáž tepelné clony kloubového hřídele	0,66			
	1800	Sběr dat - výtisk hodnot Mu	1,22	1,88	<b>1</b>	90
			<b>Σ</b>	<b>19,87</b>	<b>11</b>	<b>87</b>



Pro daný nárůst výroby na 660 vozů/den jsem přepočítal potřebnou dobu výrobního taktu  $V_t$  a upravil normu obsluhy. Dosazením plánovaného objemu výroby  $N_{(220)} = 220$  vozů/ směnu (660 vozů /den) do vzorce (18) dostáváme:

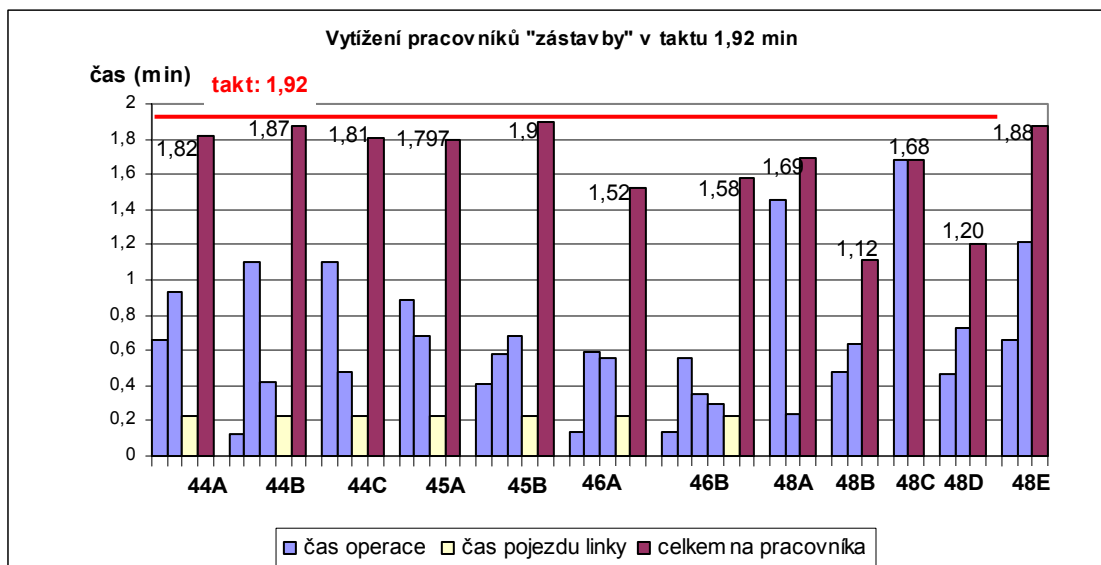
$$T_t = (T - t_{c203} - T_E) / N_{(220)} = (480 - 30 - 30) / 20 = 1,909 \text{ min/vůz.} \quad (19)$$

Nejbližší nastavitelná rychlost linky je 1,92 min/vůz.

U limitujících operací bylo třeba navrhnout a následně realizovat přerozdělení operací mezi pracovníky. V případě pracoviště 48 bylo třeba zvýšit počet pracovníků na taktu a operace přerozdělit tak, aby součet jejich času pro jednoho pracovníka nepřesáhl daný takt. Konkrétně se jedná o nárůst 1 pracovníka/směnu (3 pracovníků/ den). Vytižení pracovníků po zkrácení doby taktu je uvedeno v grafu 2 a ve výpisu z normy obsluhy uvedeného v tab. 16.

Tab. 16. Výběr z normy obsluhy pro 660 vozů /den

Plán [vozy /den]: <b>660</b>		Takt [min]: <b>1,92</b>				
Takt: pracovník:	č. op.:	Název operace (krok):	t [min]	Σ [min]	počet	vytížení [%]
44 A	1675	Zašroubování zadní nápravy do karoserie	0,66			
	1677	Zachycení šroubů ramen ZN do karoserie	0,93			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,82	<b>1</b>	95
44 B na plošině	1665	Sejmutí čárového kódu karoserie	0,12			
	1680	Montáž šroubů předních tlumičů	1,1			
	1685	Montáž pružného lůžka na konzolu motoru	0,42			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,87	<b>1</b>	97
44 C na plošině	1680	Montáž šroubů předních tlumičů	1,1			
	1690	Montáž pružného lůžka na konzolu převodovky	0,48			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,81	<b>1</b>	94
45 A	1670	Zašroubování přední nápravy do karoserie	0,89			
	1710	Šroubování zad. tlumičů do karoserie (levá str.)	0,68			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,80	<b>1</b>	94
45 B	1700	Montáž středního držáku výfuku - pásu nádrže	0,41			
	1705	Šroubování nádrže do karoserie	0,58			
	1710	Šroubování zad. tlumičů do karoserie (pravá str.)	0,68			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,90	<b>1</b>	99
46 A	1712	Uvolnění pružin zadní nápravy (levá strana)	0,14			
	1715	Montáž zadního držáku výfukového potrubí	0,59			
	1720	Montáž šroubů ramen zadní nápravy (levá str.)	0,56			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,52	<b>1</b>	79
46 B	1712	Uvolnění pružin zadní nápravy (pravá strana)	0,14			
	1720	Montáž šroubů ramen zadní nápravy (pravá str.)	0,56			
	1740	Doražení příchytů tepelných clon na rámu	0,35			
	1750	Zapojení palivového potrubí	0,30			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,58	<b>1</b>	82
48 A	1765	Montáž přiček karoserie	1,45			
	1745	Montáž šroubů tepelné clony	0,24	1,69	<b>1</b>	88
48 B	1742	Doražení příchytů tepelných clon	0,48			
	1730	Dotažení šroubů momentové vzpěry	0,64	1,12	<b>1</b>	58
48 C	1770	Spojení přední a zadní části brzdového potrubí	1,68	1,68	<b>1</b>	88
48 D	1780	Ustavení lan ruční brzdy do lanovodů	0,47			
	1775	Zapojení el. vedení lambda sond a montáž krytu	0,73	1,20	<b>1</b>	63
48 E	1732	Montáž tepelné clony kloubového hřídele	0,66			
	1800	Sběr dat - výtisk hodnot Mu	1,22	1,88	<b>1</b>	98
			<b>Σ</b>	<b>19,87</b>	<b>12</b>	<b>86</b>



Graf 2.

## **Rozbor limitující op. 1730 – utahovací technika**

Jednou z limitujících operací na úseku montážní linky nazývané „zástavba podvozku do karoserie“ – popsané v kapitole 2.4.1, části Popis jednotlivých operací– je op. 1730 – Dotažení šroubů momentové vzpěry.

Přesto, že stávající utahovačka je navržena s dostatečnou kapacitou pro požadovaný takt linky, zvolil jsem tuto operaci jako problematickou při navýšení výroby. Pro objasnění uvádím nejdříve popis pracoviště:

Karoserie s přišroubovaným podvozkem se pohybuje na závěsu karoserie po řetězovém dopravníku konstantní rychlostí 2,6m/min, určené dle plánu výroby vozů pro 600 vozů/den. Momentová vzpěra (obr. 43) je dodávána v kompletu od interního dodavatele, šrouby spojující momentovou vzpěru na blok motoru jsou zachyceny a předdotaženy na lince kompletace agregátu v op. 206.



Obr. 43. Momentová vzpěra jako součást přední nápravy

Pracovník provádějící operaci 1730 uchopí příslušnou utahovačku, která je v klidové poloze umístěná na držáku vedle linky a přejde pod vůz, k místu šroubování. Utahovačku umístí vřetenem na hlavu šroubu tak, aby záchyty reakce zapadl na těleso momentové vzpěry (obr. 44).



Obr. 44. Op. 1730 – zatahování momentové vzpěry

Postupně dotáhne dva šrouby (M10 x 35 a M10 x 75) na předepsaný moment  $40 \text{ Nm} \pm 15\%$  a úhel  $90^\circ \pm 15^\circ$ .

Dotahovací parametry jsou pevně nastaveny v řídicí skříní utahovačky a pracovník správnost zatažení kontroluje pohledem na obrazovku. Zatažené spoje posléze označí barevným popisovačem žlutou barvou a dotažení spojů potvrdí razítkem do kontrolní karty vozu (KKV). V případě nedotažení spoje označí závadu do karty „Spoje utahované EC“ k vyznačenému spoji. V takovém případě dojde k opravě – výměně dílu a k dotažení spoje na pracovišti repase.

Jak je z uvedeného obrázku 44 patrné, pracovník zvedá 4,6 kg vážící utahovačku se záchytem reakce nad úroveň ramen a hlavy, což je z ergonomického hlediska nevhodná pracovní poloha a takovou pracovní činnost je nutno vykonávat jen v tom případě, je-li to v souladu s příslušnými nařízeními.



## **4.2. Ergonomie a spolusouvisející nařízení**

Ergonomie řeší optimální vztahy mezi člověkem, pracovními prostředky a pracovním prostředím.

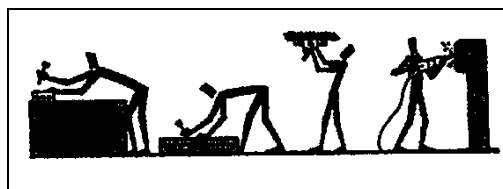
Úkolem ergonomie je:

- vytvoření technických a organizačních podmínek pro efektivní lidskou práci;
- snižování nepřiměřené pracovní zátěže a zvyšování pracovní pohody;
- omezení podmínek pro vznik chyb, selhání a zdravotního ohrožení pracovníků.

Cílem ergonomie je:

- dosažení efektivní výroby v podmínkách pracovní pohody a bez nebezpečí zdravotního poškození pracovníků;
- přizpůsobení pracovního zatížení, pracovních postupů a pracovního prostředí schopnostem člověka tak, aby mohl plnit pracovní úkoly co nejúčinněji, bez újmy na svém zdraví.

Na podporu a zajištění všech platných předpisů z oblasti ergonomie pracuje ve Škodě Ergonomická komise, která vydává rozhodnutí a doporučení pro dodržení všech podmínek zdravého chodu výroby a dodržování příslušných zákonů. Je složena ze zástupců oddělení Průmyslového inženýrství, Výrobního systému Škoda, Pracovního lékařství, výstavby, bezpečnostního technika a odborů.



Obr. 45. Příklady nevhodných pracovních poloh

**Nařízením vlády 178/2001 Sb** se stanovují podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci. Jeho část je uvedena v Příloze 2 diplomové práce. V § 7 - Fyzická zátěž a prostorové požadavky související s fyzickou zátěží - je mj. uvedeno, že: „Lokální svalová zátěž nesmí překročit nejvyšší přípustné hodnoty....“. V § 9 je konkrétně uvedeno, že: „Podle výsledků hodnocení zdravotního rizika musí být k ochraně zdraví zaměstnanců pracovní podmínky upraveny zejména vhodnými organizačními opatřeními, vybavením zaměstnanců osobními ochrannými pracovními prostředky nebo použitím vhodných technických prostředků tak, aby bylo zajištěno

vyloučení nebo omezení rizika, především poškození bederní páteře nebo onemocnění pohybového aparátu. Za vhodné technické prostředky se považují mechanická zařízení k vyloučení ruční manipulace s břemeny nebo k jejímu omezení. Nelze-li ruční manipulaci s břemeny nahradit vhodnými technickými prostředky, musí být ruční manipulace řešena s ohledem na hmotnost břemen, četnost a způsoby manipulace s nimi, možnosti jejich uchopení a s ohledem na celosměnový energetický výdej“.

V části C **Nařízení vlády 523/2002Sb** jsou uvedeny hodnoty přípustných hmotností ručně přenášených břemen a tyto uvádím v tabulce 17:

Tab. 17. Přípustné hmotnosti

<b>Přípustné hmotnosti ručně přenášených břemen (v kg)</b>		
osoby	časté zvedání a přenášení	občasné zvedání a přenášení
muži	30	50
ženy	15	20
těhotné ženy	5	5

Komutativní hmotnost ručně manipulovaných břemen nesmí u mužů překročit 10 000 kg za pracovní dobu a to i při nerovnoměrném rozvržení pracovní doby.

V části D tohoto nařízení je uvedeno bližší rozlišení pracovních poloh a jejich hodnocení. Nepříjemná poloha pro jednotlivé části těla jsou:

- *u trupu*: předklon trupu větší než 60°, záklon bez opory celého těla, výrazný úklon či pootočení trupu větší než 20°;
- *u hlavy a krku*: předklon hlavy větší než 25° bez podpory trupu, záklon hlavy bez podpory celé hlavy, úklon a rotace hlavy větší než 15°;
- *u horních končetin (paží)*: nevhodná poloha paže (zpětné ohnutí paže, krajní zevní rotace paže, zvednuté rameno), vzpažení paže větší než 60°;
- *u dolních končetin*: extrémní flexe (ohnutí) kolena, extrémní dorzální/plantární flexe v kotníku.
- *u ostatních částí těla*: extrémní flexe nebo extenze (natažení) v lokti, extrémní flexe a extenze zápěstí. Výpisy z tohoto Nařízení vlády uvádím v Příloze 3.

Vzhledem k tomu, že pracoviště dotažení momentové vzpěry vykazuje znaky pracoviště neergonomicky řešeného dodavatelem, požádal jsem odborné útvary pracovního lékařství (ZG) a ergonomie (při VI - Průmyslovém inženýrství) o prověření způsobilosti pracoviště k zákonem povoleným hodnotám.

### **4.3. Výsledky způsobilosti op. 1730**

Způsobilost pracoviště byla hodnocena dle následujících měřítek:

- 1) Určení způsobilosti pracoviště vzhledem k přípustné hmotnosti ručně přenášených břemen;
- 2) Určení způsobilosti pracoviště vzhledem k přípustným hodnotám lokální svalové zátěže;
- 3) Určení způsobilosti pracoviště vzhledem k neergonomické poloze pracovníka při utahování.

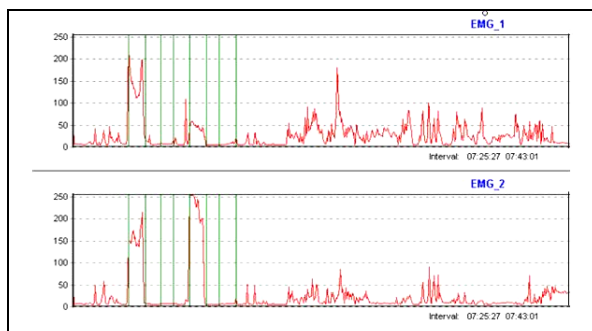
**Ad 1):** Ručně přenášeným břemenem je zde myšlena utahovačka, kterou pracovník provádí utažení šroubových spojů. Sledováním postupu provedení operace jsem zjistil, že pracovník dodržuje platný technologický postup. Postup provedení je uveden v části 4.1.: Rozbor limitující op. 1730. Přenášení 4,8 kg vážící utahovačky k místu utažení a zpět je na vzdálenost 8metrů (2x 4m) v taktu linky 2,08min/vůz.

Dle Nařízení vlády 523/2002Sb se jedná o časté přenášení břemene, u kterého je váhový limit do 30kg. Z toho vyplývá, že použití dané utahovačky je **vyhovující**.

**Ad 2):** Měření lokální fyzické zátěže je hodnoceno pomocí speciální metody integrované elektromyografie (vyšetřování funkčního stavu pohybového systému), kde je toto měření prováděno speciálním přístrojem EMG Holter od firmy GETA (obr. 46). Pomocí stimulačních a snímacích elektrod připevněných na svaly pracovníka se měří rychlost odpovědi na stimulaci ve svalu. Výsledek je zpracován v počítači a průběh zatížení svalu je možno vytisknout ve formě grafu (Graf 3).



Obr. 46...EMG Holter



Graf. 3. Ukázka výstupu měření

Měřením lokální fyzické zátěže bylo zjištěno, že přestože pracovník provádí zatahování 4,6 kg těžkou utahovačkou, jeho lokální svalový výkon při zatahování šroubových spojů v op.1730 činí 8% maximální svalové síly a tudíž **je pod limit stanovený normou**, a to jak u produkce 600 vozů/den, tak i u produkce 660 vozů /den.

Dobrý výsledek je díky hlavně krátké době manipulace se zatahovačkou a též díky tomu, že reakčnímu pohybu zatahovačky je zamezeno zachytem reakce fixujícím zatahovačku k pevné části podvozku.

**Ad 3):** Hodnocení operace 1730 z hlediska pracovní polohy je naopak blízko limitní hodnotě.

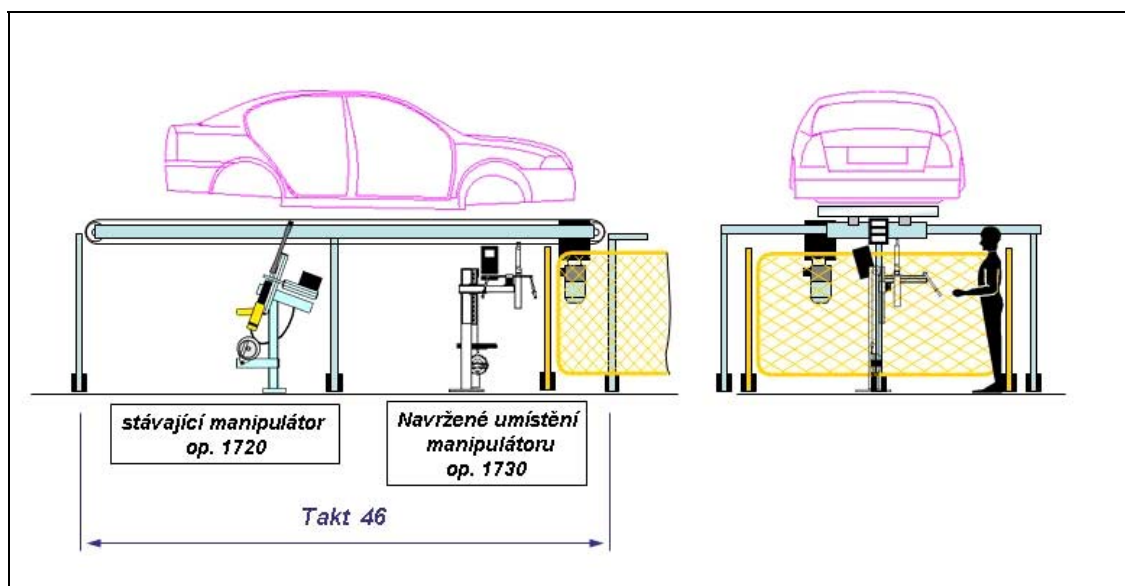
Celková doba práce v osmihodinové směně v jednotlivých nepříjemných pracovních polohách nesmí překročit 30 minut. Sledováním strojních časů chodu utahovačky při dotahování šroubů momentové vzpěry jsem zjistil hodnoty pohybující se okolo 4 sekund/šroub => cca 8 s/vůz. Při 200 vozech /směnu toto odpovídá cca 30 minutám / směnu práce v neergonomické, nepříjemné pracovní poloze. Tato doba je dle Nařízení vlády 523/2002Sb „těsně“ **vyhovující**.

#### **4.4. Navrhované řešení**

Zvýšením plánu výroby na 660 vozů/den (220 vozů/den) při zachování stávající technologie, dojde k navýšení doby práce v nepříjemné pracovní poloze na 33 min/směnu.

## **Manipulátor**

Jednou z možností řešení optimalizace pracoviště k navýšení výroby je i využití teoretických poznatků z předchozích kapitol DP. Též je možné využití dobrých zkušeností při používání manipulátorů pro operace 1675 - Šroubování zadní nápravy do karoserie, 1670 - Šroubování přední nápravy do karoserie, 1710 - Šroubování zadních tlumičů do karoserie, 1720 - Montáž šroubů ramen zadní nápravy. Z těchto důvodů navrhuji použít manipulátor s pevně upnutou utahovačkou na přesuvném rámu i pro operaci 1730. Pro umístění manipulátoru a jeho nekolizní umístění vůči pojezdu linky nebo pohybu pracovníků navrhuji nyní volný prostor na taktu 46, v blízkosti „oplocenky“ taktu 47 (viz obr. 47).

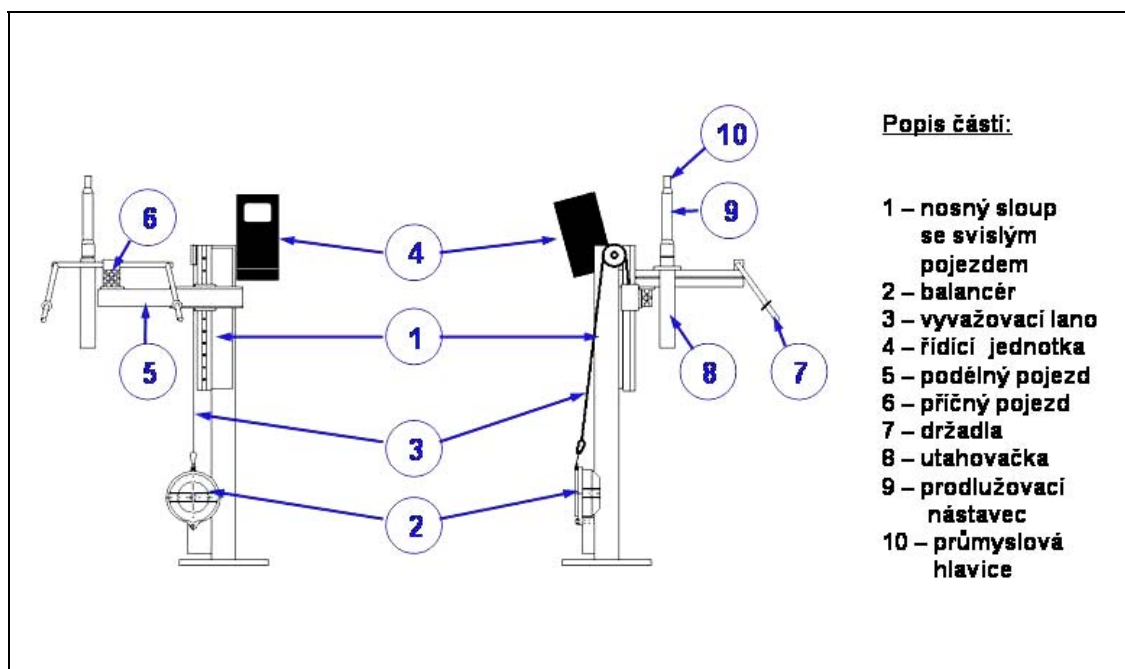


Obr. 47. Návrh umístění manipulátoru

Ovládání manipulátoru navrhuji pracovníkem stojícím kolmo ke směru pohybu linky, pomocí držadel s integrovanými spínači utahování.

Pohyb manipulátoru navrhuji ve vodících lištách ve třech osách, vyvolaný silou pracovníka. Při pohybu v ose Z (svisle) je váha pohyblivých částí a utahovacího vřetena vyvažována balancérem, připevněné na rámu manipulátoru, lanem přes pevnou kladku. Přesné místo dotahování navrhuji vymezit dorazy na pohyblivých lištách. Řízení utahování navrhuji použít standardní jako u ostatních manipulátorů. S takto navrženým manipulátorem s pevně upnutou utahovačkou bude možno zatahovat šroubové spoje bez nutnosti ručně manipulovat utahovačkou v ergonomicky nepříjemné poloze. Náčrt mého návrhu na konstrukci manipulátoru uvádím pro představu na obr. 48.

Konkrétní provedení manipulátoru a výběr typu utahovačky bude závislé na dohodě s dodavatelem. Výkresy konečné podoby manipulátoru jsou zpracovávány dodavatelem a jsou uvedeny jako přílohy k technické dokumentaci.



Obr. 48. Návrh manipulátoru pro op. 1730

## **Technické zadání a technická nabídka.**

Technické zadání je dokument používaný ve ŠkodaAuto, ve kterém zadavatel udává v ucelené a přehledné formě požadavky na projekt (práci nebo dodání technologií) pro dodavatele. Naplnění těchto požadavků dodavatel potvrzuje v technické nabídce a v případě přijetí nabídky a realizování projektu jsou tyto požadavky ověřovány při převzetí zařízení zadavatelem.

Všeobecná část technického zadání mj. obsahuje:

- název projektu, hlavní data projektu, kontaktní osoby odběratele;

- obsah dodávky zařízení, dokumentace k zařízení a dodávky speciálního nářadí, náhradních dílů a dále služeb od inženýrského zpracování, přes např. školení obsluhy, až po péči o zařízení do doby konečné přejímky;
- dohodu o použití rozhraní – napojení na energie;
- požadavky na organizaci a řízení projektu, informační povinnosti;
- podmínky termínového plánu, realizace projektu a povinnosti dodavatele;
- podmínky přejímky, zkoušek zařízení a záruky.

Technická část zadání je zpracována dle konkrétního předmětu zadání.

Technická nabídka obsahuje dodavatelem navržená řešení, popisy jednotlivých komponentů dodávky, popisy řešení požadavků z technického zadání, výkres (nákres) zařízení a cenovou nabídku.

Technické zadání je vypracováno oddělením plánování (VCT), v případě mého návrhu utahovacího manipulátoru vybírám hlavní technické požadavky, které vyplývají z Technického zadání pro dodávku šroubovací techniky pro životně důležité spoje na montáži Octávie v hale M13:

- předmět zadání je zařízení umožňující provedení operace šroubování spojů dle požadavků konstrukční a technologické dokumentace pro danou operaci;
- součástí zařízení je řídicí jednotka, vlastní utahovací zařízení, propojovací kabely, příslušenství pro správnou funkci zařízení koncové nástavky pro provedení příslušných spojů;
- zařízení musí být řešeno ergonomicky, obsluha musí být jednoduchá a jednoznačná;
- zařízení musí být navrženo tak, aby bylo schopno bez dalších nákladů pokrýt navýšení výroby cca o 30% nebo (a) zvýšení utahovacích momentů o cca 20%;
- zařízení musí být vybaveno optickou a zvukovou signalizací výsledku šroubování OK/NOK (správně dotaženo/nesprávně dotaženo) a podporovat sběr utahovacích dat.

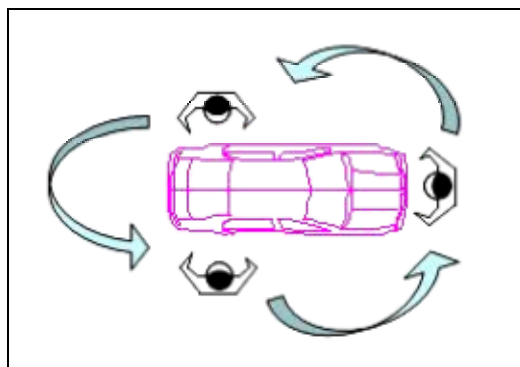
## **Rotace v týmu**

Pro okamžité řešení odstranění práce v nepříjemné pracovní poloze, navrhuji pracovníkům na taktu 48 zavést rotaci týmu.

Rotace (nebo rotace týmu) je pravidelná změna (rotační rytmus) pracovních činností v rámci pracovního týmu, s cílem zabránit jednostrannému zatížení pracovníka vykonávanou jednou pracovní činností nebo činností v nepříjemné pracovní poloze. Rotační rytmus si zvolí tým dle vykonávaných činností.

Prakticky rotace probíhá tak, že pracovníci si v rámci týmu po určité odpracované době „vymění“ pracovní operace (obr. 49). Např. pracovník zatěžující pracovní činností více pravou stranu těla si vymění operaci s pracovníkem zatěžující pracovní činností více levou stranu.

Výhodné je v určité době vhodně prostřídat všechny operace prováděné v jednom pracovním týmu vzhledem k pracovnímu postupu, např. po 1 hodině.



Obr. 49. Příklad rotace týmu.

## **Změna utahovačky**

Další návrh, kterým by bylo možno odstranit manipulaci s utahovačkou v nepříjemné poloze je řešení, kdy stavávající utahovačka je nahrazena utahovačkou a jiným druhem šroubovací hlavy.

V kapitole 2.4. mojí DP, části „pracovní pozice 48“, jsem uvedl popis stávající utahovačky DGD 47 EA 175 AX5 s pravoúhlou dotahovací hlavou. V nabídce dodavatele utahovačky - firmy Cleco – je i utahovačka Cleco 47 ES 150 2ZA, obr. 50. Porovnání charakteristik obou zatahovaček je uvedeno v následující tabulce 18.



Tab. 18. Porovnání stávající a navrhované zatahovačky

	Model	Rozsah momentu [Nm]	Max. otáčky [min <sup>-1</sup> ]	Hmotnost [kg]
stávající	DGD 47EA 175 AX5	36 - 176	130	4,6
navrhovaná	Cleco 47ES 150 2ZA	30 - 150	160	4,4



Obr. 50. Zatahovačka Cleco 47ES 150 2ZA

Výhoda spočívá v tom, že tato navržená utahovačka má přímou utahovací hlavici. Při utahování je držena v ose šroubu, tedy svisle. Tím dojde k posunutí úchopových míst na výšku 1400 - 1550 mm od země. Při tomto uchopení utahovačky již nemusí pracovník zvedat ruce nad úroveň ramen, tedy do nepříjemné pracovní polohy. Operaci 1730 - Dotažení šroubů momentové vzpěry - lze tedy provádět v podmínečně přijatelné poloze - viz. Nařízení vlády 523/202Sb (Příloha 3).

Z tabulky 18 – charakteristik utahovaček - lze vyčíst podobnost hodnot otáček a rozsahů momentu utahování, která pokryje požadovaný zatahovací moment daný technologickým postupem  $40\text{Nm} \pm 15\%$ .

Před použitím navrhované utahovačky je třeba ještě provést úpravu, popř. zhotovit jiný záchyty reakce.

## **5. Ekonomické zhodnocení a vyjádření investičních nákladů navržených a zabudovaných zařízení**

### **5.1. Navrhovaný manipulátor**

Při ekonomickém rozboru mého návrh manipulátoru jsem vycházel z cenové nabídky na obdobné zařízení, nacházející se na lince „zástavby“.

V cenové nabídce uvedené v tab. 19 jsem ohodnotil hlavní komponenty navrženého manipulátoru dle obr. 48.

Tab. 19. Cenová nabídka

Název:	Popis části:	Odhad ceny [Kč]:
Manipulátor	– nosný sloup, ukotvený k podlaze se svislým pojezdem; podélný a příčný pojezd	400 000,-
Balancér	- dle hmotnosti utahováku a pojezdů (cca 18 – 25 kg)	25 000,-
Spouštěcí držadla	- držadla s integrovaným spouštěčem a světelnou signalizací	10 000,-
Elektrický utahovák	- rozsah momentu 50 – 200 Nm, čelní teleskopické odpružení vřetene	390 000,-
Prodlužovací nástavec	- délka cca 300 mm	5 000,-
Řídicí jednotka	- řízení procesu utahování moment/úhel	240 000,-
Řídicí paměť	- datová paměť	123 000,-
Čtečka	- načítání čísla vozu	24 000,-
Napojení	- napojení na síť sběru dat, kontrola komunikace	32 500,-
Instalace a napojení	- napojení a programové nastavení	10 000,-
<b>Celkem cca [Kč]:</b>		<b>1 259 500,-</b>

V tabulce je uvedena přibližná cena na kompletní dodávku zařízení i s řídicí jednotkou a zasíťováním novým dodavatelem.

Celkovou cenu by bylo možno snížit v případě, že bude možno využít některé komponenty, použité u současné ruční utahovačky. V případě, že bude využito nabídky od firmy, která dodala současnou utahovačku, by se jednalo např. o řídicí jednotku. V případě, že bude využito nabídky firmy, která dodala současnou utahovačku, bylo by možno počítat s nižší cenou za kompletní dodávku navrženého zařízení. Náklady by

moly být poníženy o cenu již nyní použitých komponentů, jako je např. řídicí jednotka, čtečka, část silových a řídicích rozvodů, popř. i utahovačka (v případě vhodného uchycení současné utahovačky).

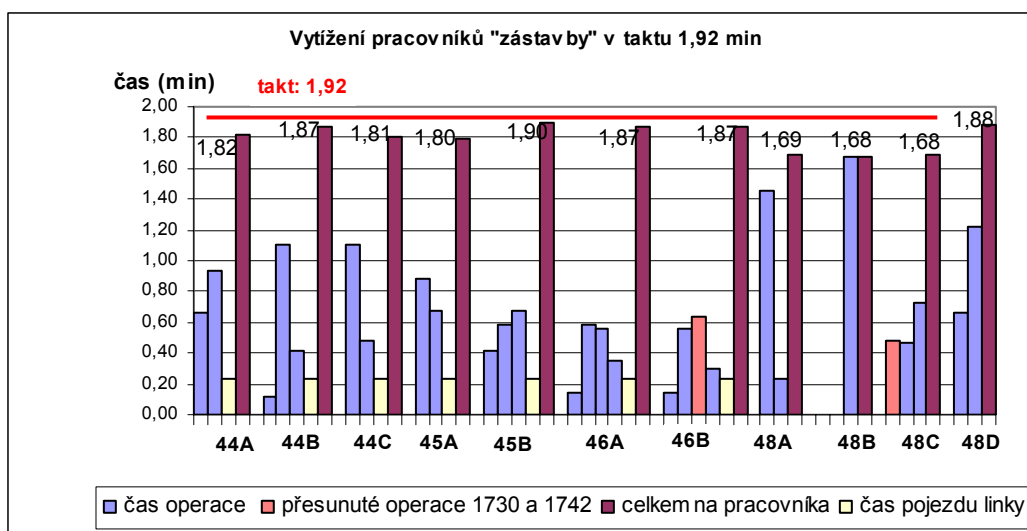
V návaznosti na ohodnocení nákladů na pořízení navrženého manipulátoru jsem provedl analýzu umožňující přesun pracovních operací a „dovyřízení“ pracovníků zástavby s cílem optimalizace počtu pracovníků obsluhy na pracovišti „zástavby“.

V kapitole 4.1. mojí DP jsem uváděl porovnání norem obsluhy a grafického znázornění vytížení pracovníků na „zástavbě“.

Vyjdou-li z rozboru normy obsluhy pro požadovaný objem výroby 660 vozů/ den (tab. 16. a graf 2), navrhuji přesunutí celé operace 1730- Dotažení šroubů momentové vzpěry z taktu 48 do taktu 46. Dále navrhuji provádět zatažení šroubových spojů op. 1730 pracovníkem z taktu 46.

Op. 1742 – Doražení přichytek tepelných clon navrhuji přesunout k pracovníkovi na taktu 48, který v současné době provádí op. 1780 - Ustavení lan ruční brzdy do lanovodů a op. 1775 - Zapojení el. vedení lambda sond a montáž krytu. Technologická posloupnost po zavedení navrhovaných změn je realizovatelná.

Realizací tohoto návrhu dojde k úspoře 1 prac./směnu (3 prac./den). Přesunutí operací je znázorněno v následujícím grafu 4. a výpisu z normy obsluhy (tab. 20)



Graf 4.

Tab. 20. Výběr z *návrhu* normy obsluhy pro 660 vozů /den.

Plán [vozy /den]: <b>660 - NÁVRH</b>			Takt [min]: <b>1,92</b>			
Takt: pracovník:	č. op.:	Název operace (krok):	t [min]	Σ [min]	počet	vytížení [%]
44 A	1675	Zašroubování zadní nápravy do karoserie	0,66			
	1677	Zachycení šroubů ramen ZN do karoserie	0,93			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,82	1	95
44 B na plošině	1665	Sejmutí čárového kódu karoserie	0,12			
	1680	Montáž šroubů předních tlumičů	1,1			
	1685	Montáž pružného lůžka na konzolu motoru	0,42			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,87	1	97
44 C na plošině	1680	Montáž šroubů předních tlumičů	1,1			
	1690	Montáž pružného lůžka na konzolu převodovky	0,48			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,81	1	94
45 A	1670	Zašroubování přední nápravy do karoserie	0,89			
	1710	Šroubování zad. tlumičů do karoserie (levá str.)	0,68			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,80	1	94
45 B	1700	Montáž středního držáku výfuku - pásu nádrže	0,41			
	1705	Šroubování nádrže do karoserie	0,58			
	1710	Šroubování zad. tlumičů do karoserie (pravá str.)	0,68			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,90	1	99
46 A	1712	Uvolnění pružin zadní nápravy (levá strana)	0,14			
	1715	Montáž zadního držáku výfukového potrubí	0,59			
	1720	Montáž šroubů ramen zadní nápravy (levá str.)	0,56			
	1740	Doražení příchyttek tepelných clon na rámu	0,35			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,87	1	97
46 B	1712	Uvolnění pružin zadní nápravy (pravá strana)	0,14			
	1720	Montáž šroubů ramen zadní nápravy (pravá str.)	0,56			
	1730	Dotažení šroubů momentové vzpěry	0,64			
	1750	Zapojení palivového potrubí	0,30			
		<i>pojezd</i>	0,23	1,87	1	97
48 A	1765	Montáž příček karoserie	1,45			
	1745	Montáž šroubů tepelné clony	0,24	1,69	1	88
48						
48 B	1770	Spojení přední a zadní části brzdového potrubí	1,68	1,68	1	88
48 C	1742	Doražení příchyttek tepelných clon	0,48			
	1780	Ustavení lan ruční brzdy do lanovodů	0,47			
	1775	Zapojení el. vedení lambda sond a montáž krytu	0,73	1,68	1	88
48 D	1732	Montáž tepelné clony kloubového hřídele	0,66			
	1800	Sběr dat - výtisk hodnot Mu	1,22	1,88	1	98
			Σ	19,87	11	94

K výše uvedenému návrhu optimalizace je nutno podotknout, že úspora 1 pracovníka /směnu (3 pracovníci /den) je podmíněna instalací manipulátoru na takt 46 podle návrhu DP. Při samotném přesunutí operace se stávající utahovačkou by bylo velmi obtížné provádět ruční zatažení šroubového spoje, protože šroub je těžko přístupný přes rám pohybující se pod sešroubovaným podvozkem. Též malá výška rámu zástavby by znamenala nutnost ohnutí pracovníka při provádění operace a tím dosažení další neergonomické polohy.

Naopak úsporou 1 pracovníka /směnu (3 pracovníků /den) dojde k snížení doby návratnosti investic do manipulátoru.

Celkové mzdové náklady na jednoho pracovníka činí dle podkladů kompetentního útvaru ŠkodaAuto - ECV (controlling) - 344 565 Kč/rok. Controlling se zabývá plánováním a kontrolou hospodaření finančními prostředky.

Při úspoře 3 prac./den se tedy jedná o částku 1 033 695 korun. Náklady na investici do manipulátoru byly výše spočítány na cca 1 259 500,- Kč, z čehož lze spočítat teoretickou návratnost investice do 15 měsíců. Vzhledem k tomu, že výroba nové Škody Octavia začala v září 2004 a bude pokračovat ještě cca 6 let, předpokládám, že investice bude rentabilní.

Zavedením varianty s rotací v týmu není potřeba žádná finanční náročnost. Přesto, že se jedná o efektivní způsob, jak na některých montážních pracovištích řešit práci v ergonomicky nepříjemných polohách, je třeba se zamyslet nad tím, zda doba, po kterou bude ještě firma Škoda vyrábět vozy Octavia, není již dostatečná pro elegantní řešení optimalizace utahování.

## **5.2. Investice do stávajícího zařízení**

Stávající utahovací zařízení – manipulátory a utahovačky – byly instalovány ve ŠkoděAuto v srpnu 2004 při přestavbě technologických pracovišť a dopravních linek z důvodů zahájení výroby nového vozu – Škody Octavia.

Zařízení pro utahování šroubových spojů jsou odlišná dle požadavků na spoj, zvláště k velikosti spojovacích částí a požadovaného momentu. Dle těchto požadavků se mění i cena jednotlivých komponentů šroubovacího zařízení, a to i ručních utahovaček. Proto i jednotlivé cenové nabídky jsou odlišné a v případě rozšíření požadavků na výrobu je třeba požadovat od dodavatele novou cenovou nabídku.

Např. manipulátor pro zatažení šroubů ramen zadní nápravy (op. 1720), popisovaný v kap. 2.4.1, části „Popis jednotlivých operací“, je podobné konstrukce jako mnou navrhovaný manipulátor pro utažení šroubů momentové vzpěry (op. 1730), jehož popis je v kap. 4.3. . Přehled investičních nákladů tohoto manipulátoru uvádím v následující tabulce 21.

Tab. 21. Přehled investic na manipulátor - op. 1720

Název	cena [Kč]
řídící jednotka PF 3009-C-HW	407 216
řídící paměť RBU AG	243 474
restovací tlačítko	5 580
nápojovací kabel ŘJ - utahovačka (5m)	87 420
utahovačka ETP - S9270-20	760 368
průmyslová hlavice SW 16-1/2"	372
manipulátor	798 808
naváděcí trn	102 982
balancér RIL 22C	17 670
<b>Σ:</b>	<b>2 423 890</b>

Vzhledem k tomu, že operace 1720 jsou vlastně 2 shodné manipulátory (na levé a pravé straně), je cena s mnou navrženým manipulátorem srovnatelná.

Položky dodaného zařízení uvedené v tabulce tab. 21, lze rozdělit dle charakteru na části související s utahovačkou (utahovačka, řídící jednotka, paměť atd.) a na části související s manipulátorem (manipulátor, naváděcí trn, balancér).

Další položky, které přistupují do investice jsou části systému evidence a vyhodnocení šroubových dat s napojením do sítě. Některé položky systému uvádím v následující tabulce 22.

Tab. 22. Přehled investic pro zařízení systému evidence

Název	cena [Kč]
centrální server	327 821
SW centrálního sběru dat až pro 75 vřeten	982 800
datové propojení	667 800
převodníkové konvertory	890 663
převodníkové konvertory dat	
konkurenčních dodavatelů utahovaček	579 600
čtečky čísla karoserie	963 900
příslušenství ke čtečkám:	
kabely, zdroje, držáky (cca)	1 102 500
<b>Σ:</b>	<b>5 515 083</b>

Tyto ceny jsou pouze orientační a jsou závislé na objemu zakázky (délka datových cest, počty vstupů, požadované výstupy).

## 6. Závěr

Cílem diplomové práce je prokázat zajištění stability procesu montážních šroubových spojů. Kvalita procesu je závislá na pečlivě zpracovaném popisu práce – technologickém postupu, zajištění precizní práce obsluhy, přesné funkci strojů a zařízení, kvalitě spojovacího materiálu, správném nastavení kontrolního a měřicího zařízení a řízení utahovacího procesu.

Čím později je odhalen a zachycen problém v systému jakosti montáže, tím větší náklady je nutno následně vynaložit na jeho odstranění. Dále může dojít k dalšímu zvýšení nákladů a také časovým problémům při stahování výrobku z oběhu. V důsledku těchto skutečností je eliminace chyb zásadním faktorem pro šroubové spoje.

Stupeň zajištění bezchybného utahování je úměrný požadovanému stupni řízení procesu a dle požadavků na bezpečnost spoje:

- 1) **Zajištění správného utahovacího momentu:** použití montážního nářadí, které je seřízeno na předepsaný a předem stanovený krouticí moment.  
V tomto prvním kroku je však řízen pouze krouticí moment utahování, vliv pracovníků a vliv zpracovaných dílů není do procesu monitorování zahrnut.
- 2) **Zajištění utažení všech šroubů:** eliminovat možnost zapomenutí, nebo dvojího zatažení šroubového spoje a také použití řídicí jednotky, která monitoruje utahovací cyklus a identifikuje řádné vypnutí nářadí.
- 3) **Zajištění správnosti spoje:** zamezení utahování spoje s chybějící součástí (např. těsnění nebo podložka) nebo spoje s poškozeným závitem. Tyto druhy chybných spojů lze detekovat monitorováním úhlu utahování během procesu utahování. Pracovník je veden a zpětnovazebně informován prostřednictvím signálních světel na nářadí.
- 4) **Zajištění řádného evidování životně důležitých spojů:** veškeré údaje o utahování zadokumentovat a v případě potřeby analýzy chyb požadovaná data umět načíst.

- 5) **Zajištění bezchybné výroby:** i po zajištění předchozích kroků je možnost vzniku chyby při utahování nesprávně nastavenými utahovacími parametry. Proto je třeba zavést identifikaci montovaných dílů a prostřednictvím zasílání řídicích jednotek pro utahování zajistit pro každý díl správné parametry.

Z popisu používaného utahovacího zařízení popisovaného v kapitole 2.4. a principu řízení v kapitole 3.4. mojí diplomové práce je zřejmé, že ve Škoda Auto je zajištění kvality a bezchybnosti utahování na vysoké úrovni a s použitím všech dostupných možností.



Obr. 51. Použití utahovaček

Z řešení ve čtvrté části diplomové práce je zřejmé, že i při požadavku na bezchybnost je kladen důraz na ergonomii, bezpečnost a hygienu práce. Útvary výstavby, průmyslového inženýrství a technologie firmy Škoda Auto spolupracují na projektech vedoucích k zajištění požadavků výroby, s využitím všech možností pro splnění zdravotních a bezpečnostních norem. Při navrhování utahovacího nářadí pro výkon pracovních operací je preferováno nářadí lehké, pohodlně uchopovatelné, s nízkými hladinami vibrací a hluku.

Firma Škoda Auto investuje do kvalitního výrobního zařízení, zajišťujícího bezpečný výkon práce na jedné straně, a do školicích a zdravotních programů za účelem zabezpečení zdraví pracovníků na straně druhé.

V průběhu vypracovávání mojí diplomové práce jsem se zaměřil na optimalizaci práce na pracovišti zástavby, operaci 1730 – Montáž šroubů momentové vzpěry.

Pracoviště jsem vybral po rozboru limitních operací v kapitole.



Bez ohledu na to, jak kompetentní útvary firmy Škoda Auto rozhodnou o návrhu na instalaci zatahovacího manipulátoru (kapitola 4.4.), byl realizován návrh použít pro utahování šroubových spojů přímé utahovačky (obr. 52).



Obr. 52. Realizace návrhu

Použitím přímé zatahovačky Cleco 47ES 150 2ZA bylo docíleno předpokládaného přínosu. V kapitole 4.4. jsou uvedeny výsledky řešení, jejichž hlavní přínos je v odstranění ergonomicky nepříjemné polohy pracovníka při utahování.

Navržená utahovačka může být, po připevnění na rám, použita i k realizaci návrhu použití utahovacího manipulátoru.

## **7. Seznam literatury**

- [1] POSPÍŠIL, F., *Závitová a šroubová spojení*, 1. vyd. Praha: SNTL, 1967. 264s. 04 – 215- -68.
- [2] POSPÍŠIL, F., *Závity – šrouby – matice a příslušenství*, 1. vyd. Praha: SNTL, 1975. 576s. 04 – 240-75.
- [3] KŘÍŽ, R., VÁVRA, P., *Strojírenská příručka*. 1. vyd. Praha, SCIENTIA, spol. s.r.o., 1994. Svazek: 5, Kapitola: R: Části strojů a převody, Oddíl: 1.6. Šroubové spoje, s. 140 - 165. ISBN 80-85837-59-X.
- [4] DEJL, Z., *Konstrukce strojů a zařízení*. 1. vyd. Ostrava, MONTANEX, a. s., 2000. Kapitola: 1: Šrouby, šroubová spojení a závitové spoje, s. 12- 80. ISBN 80-7225-018-3.
- [5] ZELENKA, A., PRECLÍK, V., HANINGER, M., *Projektování procesů obrábění a montáží*, 2. vyd. Praha: ČVUT, 1999. Kapitola: 4. Studium spotřeby času při projektování výroby, s. 90-128 s. ISBN 80-01-02013-4.
- [6] ŠKODA AUTO, a.s., Mladá Boleslav: ZÁKLADY NORMOVÁNÍ VÝKONU A RACIONALIZACE VÝROVNÍHO PROCESU, 1997, 138 s.
- [7] ŠKODA AUTO, a.s., Mladá Boleslav: KATALOG ERGONOMIE, 1994,. 127 s.
- [8] ATLAS COPCO, s.r.o., Švédsko: METODY KONTROLY A ŘÍZENÍ PROCESU UTAHOVÁNÍ, [b.r.], 22 s.
- [9] ATLAS COPCO, s.r.o., Švédsko: ZÁKLADY UTAHOVÁNÍ ŠROUBOVÝCH SPOJŮ, [b.r.], 22 s.
- [10] ATLAS COPCO, s.r.o., Švédsko: METODY KONTROLY A ŘÍZENÍ PROCESU UTAHOVÁNÍ, [b.r.], 22 s.
- [11] ATLAS COPCO, s.r.o., Švédsko: PRŮMYSLOVÉ NÁŘADÍ, 2004, s.1 – 140.
- [12] Cooper Tools, Lexington, USA.: DC ELECTRIC ASSEMBLY TOOLS, 2003, s.50.
- [13] SBÍRKA ZÁKONŮ ČESKÁ REPUBLIKA, 178. NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 18. dubna 2001, kterým se stanoví podmínky ochrany, par.7, příloha 6.
- [14] SBÍRKA ZÁKONŮ ČESKÁ REPUBLIKA, 523. NAŘÍZENÍ VLÁDY ze dne 14. října 2002 kterým se mění nařízení vlády č. 178/2001 Sb., kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci, Část D.

## **8. Seznam příloh a přílohy**

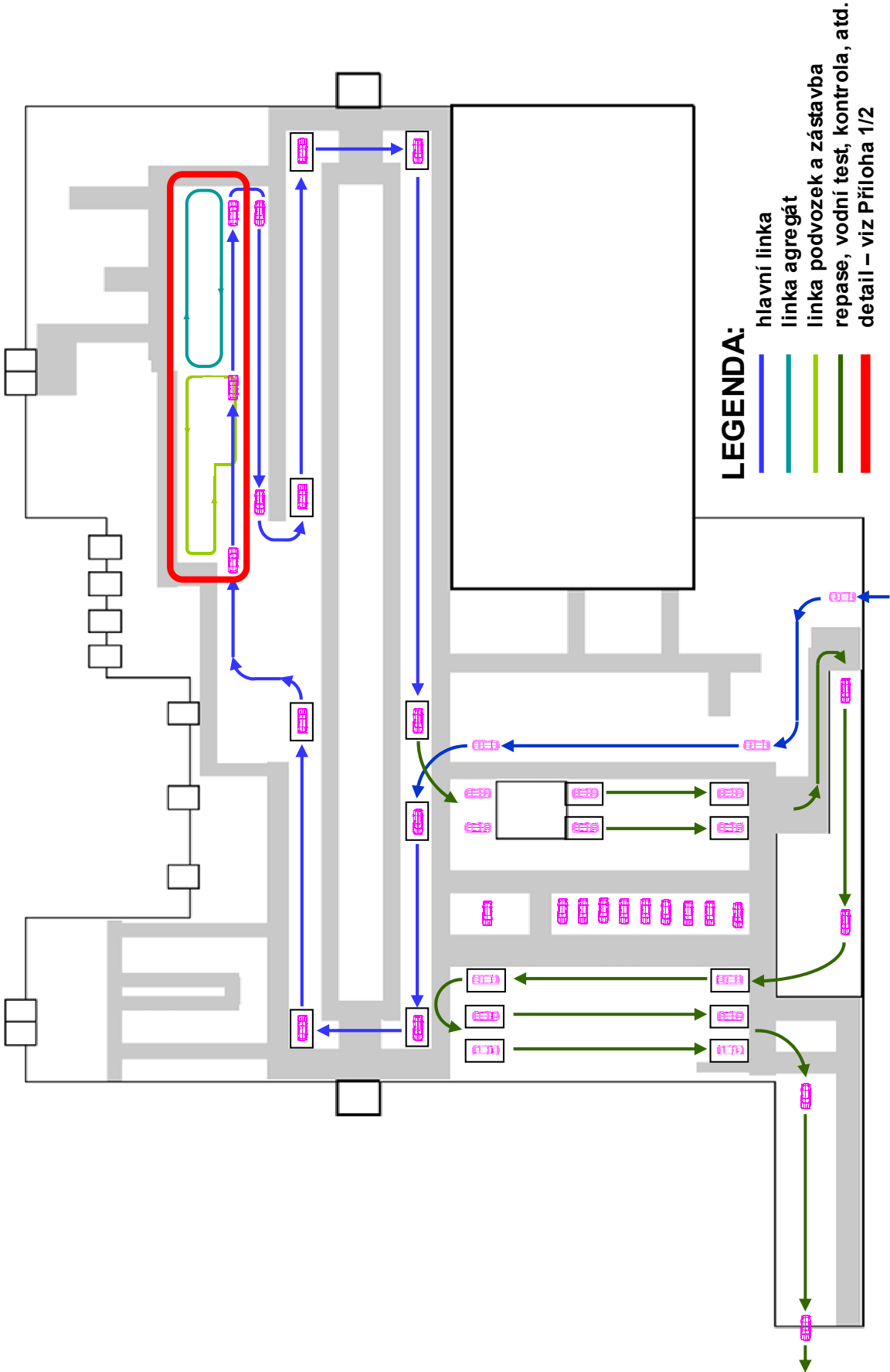
Příloha 1: Layout montážní haly M13 – montáž A5

Příloha 2: Výpis ze Sbírky zákonů č. 178/ 2001

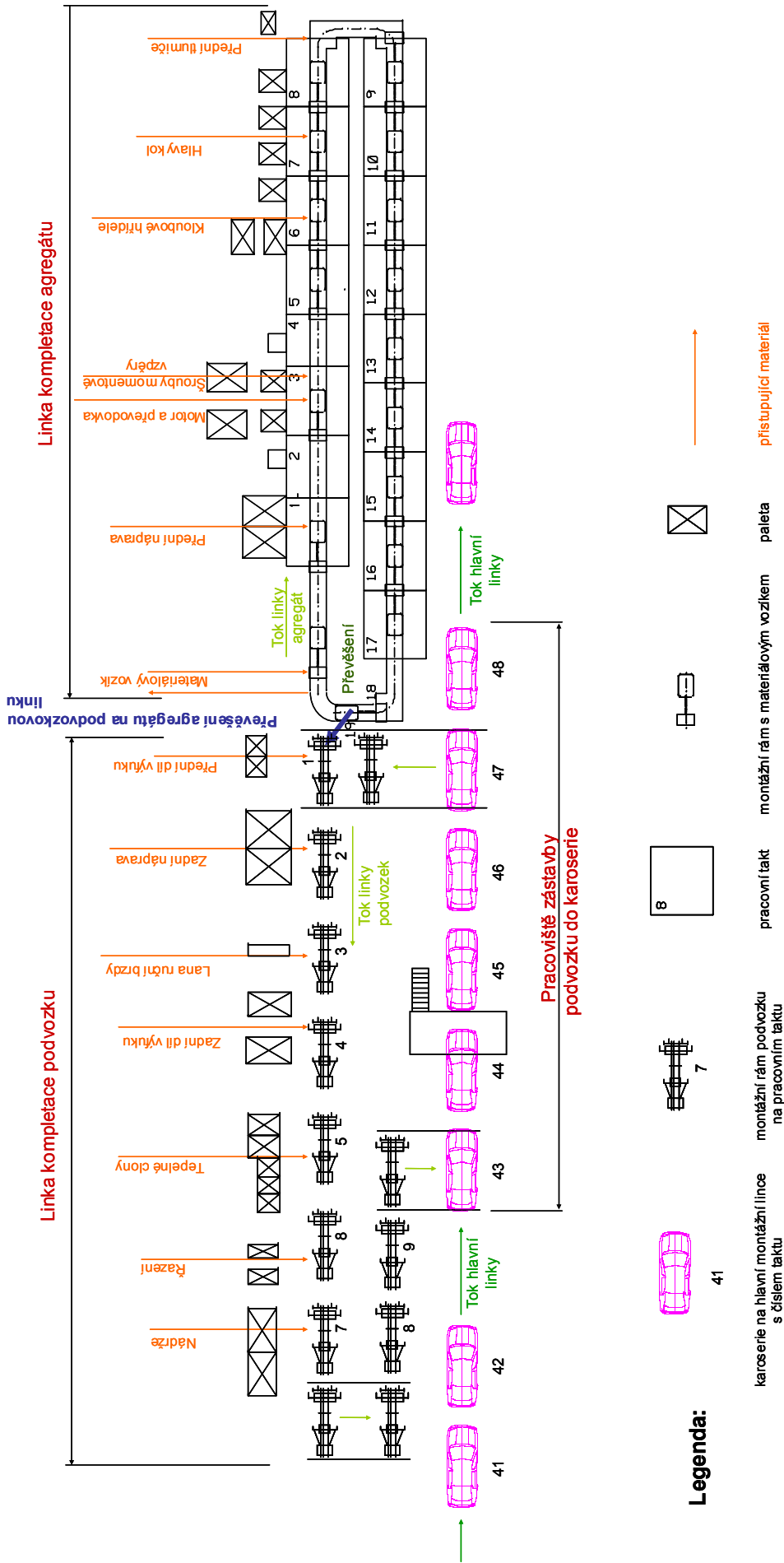
Příloha 3: Výpis ze Sbírky zákonů č. 523/ 2002

Příloha 4: CD TECHNICKÉ ZAJIŠTĚNÍ STABILITY PROCESU MONTÁŽNÍCH  
ŠROUBOVÝCH SPOJŮ – elektronická podoba DP

Layout montáže A5 – hala M13

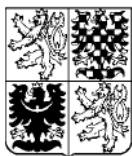


Linky agregátu, podvozku a „zástavby“



Příloha 2: Výpis ze Sbírky zákonů č. 178/ 2001

Ročník 2001



# SBÍRKA ZÁKONŮ

## ČESKÁ REPUBLIKA

178

### NAŘÍZENÍ VLÁDY

ze dne 18. dubna 2001,

kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci

#### Část B

Přípustné hodnoty lokální zátěže svalů vyjádřené v % max. svalové síly ( $F_{max}$ )

1. Celosměnový časově vážený průměr vynakládaných svalových sil nesmí překročit hodnoty vyjádřené procentem maximální svalové síly (%  $F_{max}$ ) exponované svalové skupiny uvedené v tabulce č. 5.

2. Četnosti pohybů, při nichž jsou zatěžovány malé svalové skupiny předloktí a ruky nesmí za osmihodinovou směnu překročit při uvedených vynakládaných svalových silách hodnoty počtů pohybů za osmihodinovou směnu uvedené v tabulce č. 6.

3. Četnost pohybů drobných svalů prstů a ruky nesmí překročit při vynakládaných svalových silách 3 %  $F_{max}$ . hodnotu 110, u 6 %  $F_{max}$  hodnoty 90 za minutu.

4. Pracovní úkony s použitou silou nad 70%  $F_{max}$  u práce převážně dynamické, jako pravidelná součást hlavní pracovní operace, jsou nepřipustné. Pracovní úkony s použitou silou 55-70 %  $F_{max}$ , u práce převážně dynamické jsou přípustné maximálně 600x za osmihodinovou směnu, pokud je použito měřicí zařízení umožňující snímání 1x za sekundu.

Pracovní úkony u práce převážně statické, s použitou silou vyšší než 45 %  $F_{max}$  jako pravidelná součást hlavní pracovní operace, jsou nepřipustné.

Tabulka č. 5	
Přípustné hodnoty v % $F_{max}$ pro muže a ženy při práci s převahou:	
Převážně dynamické složky	Převážně statické složky
Celosměnově průměrné	Celosměnově průměrné
30	10

## Poznámky k tabulce č. 5

F max (maximální svalová síla) je síla, kterou je schopna vyšetřovaná osoba dosáhnout při maximálním volném úsilí vynakládaném konkrétními svalovými skupinami v definované pracovní poloze. Vyjadřuje se ve fyzikálních jednotkách (N). Měří se individuálně nebo se odhaduje z tabelárních hodnot.

% Fmax (procento maximální svalové síly) udává poměr vynaložené svalové síly k Fmax, přičemž Fmax odpovídá 100 %.

Celosměnově průměrná Fmax je časově vážený průměr svalových sil vynakládaných zatěžovanou svalovou skupinou.

Tabulka č. 6			
% Fmax	Počet pohybů za směnu - 480 min	Počet pohybů za minutu při trvání stahu < 2s	Počet pohybů za minutu při trvání stahu ≤ 3s
7	27 600	37	24
8	24 300	36	23
9	21 800	34	22
10	19 800	33	21
11	18 100	32	20
12	16 700	30	19
13	15 500	29	19
14	14 000	28	18
15	13 500	27	17
16	12 700	26	16
17	12 000	25	15
18	11 400	24	15
19	10 900	23	14
20	10 400	22	14
21	10 000	21	13
22	9 600	21	12
23	9 300	20	12
24	9 000	19	12
25	8 700	18	11
26	8 400	18	11
27	8 100	17	10
28	7 800	17	10
29	7 500	16	10
30	7 200	15	9
31	6 900	15	9
32	6 600	14	9
33	6 300	14	9
34	6 000	13	8
35	5 800	12	7
36	5 600	12	7
37	5 400	11	7
38	5 200	11	6
39	5 000	10	6
40	4 800	10	6
41	4 600	10	5
42	4 400	9	6
43	4 200	9	5
44	4 000	9	5
45	3 800	8	5
46	3 600	8	5
47	3 400	7	5
48	3 200	7	4
49	3 000	7	4
50	2 700	7	4
51	2 400	7	4
52	2 100	7	3
53	1 800	7	3

### Část C

#### Přípustné hmotnosti ručně přenášených břemen

1. Hmotnost břemen ručně přenášených muži nesmí překročit při dobrých úchopových možnostech vyhodnocených podle § 9 tohoto nařízení, při občasném zvedání a přenášení 50 kg, při častém zvedání a přenášení 30 kg, přičemž energetický výdej nesmí překročit hodnoty uvedené v tabulce č. 1 části A této přílohy. Manipulaci s břemenem vstoje nebo v sedě je možno vykonávat při dodržení počtů zdvihů a kumulativních hmotností uvedených v tabulce a předpokladu, že bude ve stanovené pracovní době rozložena rovnoměrně.

### Část D

#### Postup pro měření a hodnocení lokální svalové zátěže horních končetin

1. Zásady postupu pro vyšetřování a hodnocení lokální svalové zátěže. Podrobná analýza pracovních podmínek zahrnuje zejména:

- popis práce se sledováním časových faktorů práce,
- režim práce a odpočinku v průběhu pracovní doby, týdne nebo roku (zvláště u sezónních prací),
- rozbor režimu práce uvnitř pracovních operací, délku trvání úkonů, doby relaxace,
- podíl zátěže svalstva malých svalových skupin na celkové zátěži,
- plnění výkonových norem, nárazové práce s vysokou zátěží,
- zaujímání pracovních poloh těla, končetin a jejich částí.

#### 2. Popis časových faktorů práce (časový snímek)

Časový snímek pracovního dne jednotlivého zaměstnance se k tomuto účelu pořizuje metodou nepřerušovaného pozorování a zaznamenáváním veškeré spotřeby pracovního času během směny, rozbořem a vyhodnocením naměřených hodnot. Posuzuje se při tom, zda převládá zátěž dynamická či statická.

##### a) Obecné zásady

- před vlastním měřením je třeba určit zaměstnance a pracoviště (popřípadě stroj, výrobní postupy a další faktory), které budou sledovány,
- zaměstnanci, u nichž se šetření provádí, mají být dobře zapracovaní a musí spolupracovat při vyšetření,
- měření má probíhat za normálních provozních podmínek, což stvrzuje zaměstnavatelem pověřený zaměstnanec a zástupce zaměstnanců,
- časový snímek musí zahrnovat podmínky celé pracovní doby.

##### b) Postup při pořizování časového snímku jednotlivce se provádí metodou nepřerušovaného pozorování:

- průběžně se sledují jednotlivé činnosti (pohyby, úkony, operace či jiné sledované znaky včetně přestávek),
- do protokolu se vypisují činnosti a nečinnosti zaměstnance (měřené znaky tak, jak po sobě následují),
- zaznamenává se postupný čas s přesností na minuty a doba trvání jednotlivých úkonů.

:

#### 4. Popis pracovních poloh

Popis zahrnuje zejména

##### a) Polohu těla

- základní pracovní polohy při hlavní a vedlejší pracovní činnosti,
- zaujímání fyziologicky nepříjemných poloh (vleže, vkleče, ve vypjatém stoji, při rotaci trupu o více než 60 st., v hlubokém předklonu, ve vzpažení, se záklonem hlavy),
- vnucené polohy.

Pracovní polohy se vždy posuzují v časových souvislostech.

##### b) Polohu končetin

- postavení horních končetin a rukou,
- postavení dolních končetin.

#### 5. Popis postavení horních končetin se provádí pomocí úhlů

Úhel alfa: vyjadřuje polohu obsluhované (úchopové) části stroje nebo nástroje vzhledem ke středovému bodu ramenního kloubu, tj. k rovině proložené tímto bodem a kolmé k sagitální rovině těla. Při předpažení má hodnotu 0 st., při vzpažování nabývá kladných hodnot až do +90 st., resp. +80 st., při klesání paže z předpažení směrem dolů nabývá hodnot záporných až do -90 st.

Při pracovní poloze horních končetin mírně zapažených pak úhel alfa nabývá vyšších záporných hodnot, například -100 st. Jedná-li se o současný předklon, nutno popsat (úhel je vždy v rovině kolmé k dané sagitální rovině proložené trupem).

Úhel beta: pomocí tohoto úhlu je určena poloha ovládané části stroje (poloha úchopu) vzhledem k sagitální rovině těla, která dělí tělo shora dolů na pravou a levou polovinu. Při pozici končetiny, kdy předmět úchopu se nachází v rovině rovnoběžné s touto sagitální rovinou, je úhel beta roven 0 st. (addukce paže). Rozvírání se do +90 st. při abdukci paže.

Úhel gama: vyjadřuje pozici předloktí vzhledem k nadloktí, tedy stupeň ohybu v loketním kloubu. Má hodnoty kladné od cca +30 st. do +180 st. Alternativně jej lze vyjádřit nepřímo jako poměrnou část z maxima dosahu.

Postavení ruky: se týká polohy dlaně, prstů 2 až 5 a palce. Popis se týká způsobu úchopu pracovního nástroje, předmětu nebo části stroje.

#### 6. Popis pracovních pohybů

Popisuje se počet pohybů, rozsah, četnost v čase, zda jsou pohyby spojeny s manipulací s břemeny, ovladači, a podobně).

#### 7. Postup při hodnocení četnosti pohybů:

- přímý odečet na pracovišti pomocí stopek - počítá se četnost pohybů jednotlivých končetin za předem stanovenou časovou jednotku,
- při činnostech spojených s rychlými pohyby, které nelze metodou přímého odečtu posoudit, se použije videozáznam.



#### A) Měření pracovní zátěže

1. Měření tahů, tlaků pák, rukojetí a jiných ovladačů a hmotnosti břemen, pracovních pomůcek, držených nástrojů pomocí jednoduchých měřidel jako jsou minciře, momentové klíče, dynamometry, váhy, jednoduché tenzometry bez kontinuálního časového záznamu. Metoda je použitelná pro jednoduché pracovní činnosti nebo pro činnosti neustále se opakující.

2. Měření pomocí tenzometrické aparatury s kontinuálním časovým záznamem - metoda pro přesnější měření svalových sil.

Metody pod body 1 a 2 vycházejí z měření absolutních hodnot vynakládané svalové síly a z následného přepočtu, při kterém jsou porovnávány hodnoty vynakládaných svalových sil s odečtenou (tabulkovou) nebo naměřenou maximální hodnotou svalové síly, korigovanou na věk a pohlaví (% Fmax).

3. Metoda tzv. pracovní integrované elektromyografie - nejpřesnější, při které je u zaměstnance monitorována odezva funkce neurosvalového systému, resp. snímány elektrofyzilogické potenciály vyšetřených svalových skupin.

#### 4. Souhrnné hodnocení lokální svalové zátěže:

Posuzují se:

- statické a dynamické prvky svalové práce u sledované činnosti,
- vynakládané svalové síly a četnosti pohybů,
- intenzita a plynulost práce,
- kvantifikace celkové manipulované hmotnosti za časovou jednotku,
- individuální pracovní stereotypy.

Pro posouzení lokální svalové zátěže je nutné posouzení více kritérií ve vzájemné souvislosti, a to zejména nadměrnosti, jednostrannosti a dlouhodobosti.

Za dlouhodobost lze považovat dobu poškozování, která vylučuje úrazový mechanismus.

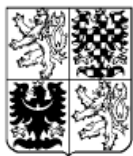
Kritéria jednostrannosti a nadměrnosti jsou posuzována vždy ve vzájemné souvislosti a vypovídají o poměru vynakládaných sil k jejich časovému průběhu z hlediska zátěže stejných anatomických struktur.

#### 5. Nadměrnost a jednostrannost se posuzuje zejména podle:

- velikosti svalové síly,
- doby, po kterou daná síla působí v průběhu pracovního pohybu, úkonu, operace,
- pracovní polohy těla, polohy končetin a rozsahu pohybů při vynakládání svalové síly v určitém směru,
- střídání pracovních pohybů při pracovních úkonech, operacích z hlediska zátěže stejných či různých svalových skupin,
- střídání pracovních operací v průběhu pracovní doby event. v jednotlivých měsících během roku,
- četnost opakování pracovních pohybů se zapojením stejných svalových skupin v průběhu časové jednotky, směny.

Příloha 3: Výpis ze Sbírky zákonů č. 523/ 2002

Ročník 2002



# SBÍRKA ZÁKONŮ

## ČESKÁ REPUBLIKA

523

NAŘÍZENÍ VLÁDY

ze dne 14. října 2002,

kterým se mění nařízení vlády č. 178/2001 Sb.,  
kterým se stanoví podmínky ochrany zdraví zaměstnanců při práci

Část C

Přípustné hmotnosti ručně přenášených břemen

1. Hmotnost břemen ručně přenášených muži nesmí překročit při dobrých úchopových možnostech vyhodnocených podle par. 9 tohoto nařízení, při občasném zvedání a přenášení 50kg, při častém zvedání a přenášení 30kg, přičemž energetický výdej nesmí překročit hodnoty uvedené v tabulce č. 1 části A této přílohy. Občasným zvedáním a přenášením břemen se rozumí práce vykonávaná přerušovaně po dobu celkově kratší než 30 minut za pracovní dobu. Komutativní hmotnost ručně manipulovaných břemen nesmí překročit 10 000 kg. za pracovní dobu a to i při nerovnoměrném rozvržení pracovní doby.
2. Hmotnost a podmínky pro zvedání a přenášení břemen, těhotnými ženami, kojícími ženami, matkami do konce devátého měsíce po porodu a mladistvými jsou stanoveny zvláštním právním předpisem (261/1997).
3. Hmotnost břemen ručně přenášených ženami nesmí překročit při dobrých úchopových možnostech vyhodnocených podle par. 9 tohoto nařízení, při občasném zvedání a přenášení 20kg, při častém zvedání a přenášení 15 kg, přičemž energetický výdej nesmí překročit hodnoty uvedené v tabulce č. 1 části A této přílohy. Při přepravě břemen pomocí jednoduchých bezmotorových prostředků nesmí vynakládané svalové síly tlačné překročit hodnotu 250 N a tažné 220 N.

Tabulka č. 1

Nejvyšší přípustné hmotnostní limity pro zvedání a přenášení břemen ženami oběma rukama v pracovní poloze vstoje <sup>1)</sup>			
Hmotnost ručně zvedaných a přenášených břemen nesmí být větší než (kg)	Délka vertikální dráhy břemena	Maximální počet zdvihů za 1 minutu	Maximální celková hmotnost (kg) břemen zvedaných a přenášených za 1 směnu
15	podlaha - zápěstí <sup>2)</sup>	5	6500
	zápěstí - rameno <sup>2)</sup>	2	
10	podlaha - zápěstí <sup>2)</sup>	7	5500
	zápěstí - rameno <sup>2)</sup>	8	
	podlaha - rameno <sup>2)</sup>	6	
5	podlaha - zápěstí	9	4000
	podlaha - rameno	8	
	podlaha - nad rameno	5	
	zápěstí - rameno	10	
	zápěstí - nad rameno	8	
	rameno - nad rameno	6	
<sup>1)</sup> Při pracovní poloze vsedě nesmí být hmotnost břemene větší než 5 kg.			
<sup>2)</sup> Jiné vertikální dráhy nejsou pro tuto hmotnost břemene přípustné.			

Kumulativní hmotnost ručně manipulovaných břemen nesmí překročit maximální celkovou hmotnost břemen za pracovní dobu.

Břemena o hmotnosti 10 – 15 kg je možno zvedat nepřetržitě po dobu 10 minut, mezi pracovními seký se zvedáním musí být zařazeny přestávky o délce nejméně 15 minut.

Břemena o hmotnosti 5 – 10 kg je možno nepřetržitě zvedat po dobu 1 minut; mezi pracovními cykly s nepřetržitým zvedáním musí být zařazeny přestávky o délce nejméně 10 minut.

Tabulka č. 2

<b>Největší přípustná vzdálenost pro přenášení břemen ženami při dobrých úchopových možnostech</b>			
Hmotnost ručně přenášených břemen (kg)	15	10	5
Maximální vzdálenost přenášení (m)	10	15	20

Přenášení a zvedání břemen se posuzují odděleně.

---

## Část D

### Pracovní polohy a jejich hodnocení

Hodnocení práce z hlediska pracovních poloh je nejvýznamnější na stabilních pracovních místech (např. práce na stacionárních a pracovně pojízďecích strojích, práce v pásové výrobě aj.), kdy zaměstnanec je více než polovinu osmihodinové směny na stejném pracovním místě a provádí odbornou pracovní činnost. Pracovní polohu si přitom zaměstnanec nemůže sám volit, ale jeho pracovní poloha je přímo závislá na konstrukci stroje, uspořádání pracovního místa, prostorových parametrech pracoviště a podobně.

Při hodnocení ostatních pracovních činností je možné též vycházet z uvedených kritérií, ale vždy je nezbytné přihlédnout k individuálním charakteristikám jednotlivých prací, zejména jde o časové faktory práce.

Pracovní poloha je vždy hodnocena pouze v souvislosti s vykonávanou činností, tj. jestliže jde o strukturální části pracovní činnosti a nejde-li o nahodilé chování.

Používá se dvoukrokový systém hodnocení pracovních poloh, přičemž:

1. KROK – zahrnuje hodnocení polohy jednotlivých částí těla pomocí úhlů
2. KROK – zahrnuje podmínky, za kterých lze polohy označené v kroku 1 za podmíněné zařadit mezi polohy přijatelné.

#### **Přijatelná pracovní poloha:**

Za přijatelnou pracovní polohu se považuje práce v sedě nebo v stoje popřípadě s možností střídání sedu a stoje.

#### **Podmíněně přijatelná pracovní poloha:**

Vymezení podmíněně přijatelné pracovní polohy trupu, hlavy a krku, horních končetin a dolních končetin je uvedeno v příslušných krocích 1 a 2.

Celková doba práce v osmihodinové směně v jednotlivých podmíněně přijatelných pracovních polohách nesmí přesáhnout 160 minut a doba trvání jednotlivých pracovních poloh nesmí být delší než 1 – 8 minut v závislosti na typu polohy a frekvenci pohybů.

#### **Nepřijatelná pracovní poloha:**

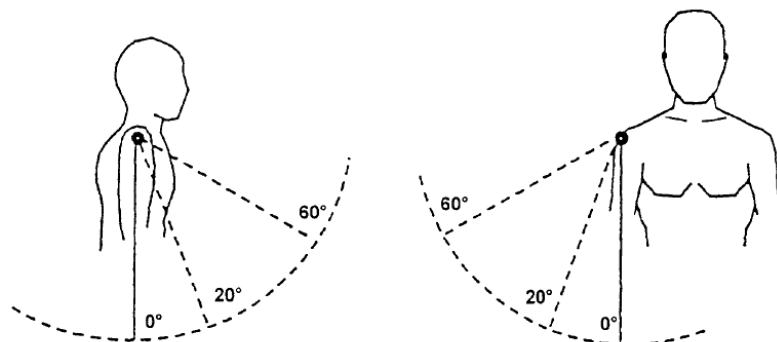
Vymezení nepřijatelné pracovní polohy trupu, hlavy a krku, horních a dolních končetin je uvedeno v příslušných krocích 1 a 2.

Celková doba práce v osmihodinové směně v jednotlivých nepřijatelných pracovních polohách nesmí překročit 30 minut.

Celková doba práce v podmíněně přijatelných a nepřijatelných pracovních polohách nesmí být delší než polovinu osmihodinové směny.

#### **Hodnocení poloh horních končetin:**

- Při hodnocení horních končetin se vychází ze dvou bodů na horní končetině, tj. vnější části klíční kosti a loketního kloubu. Vzpažení horní končetina je definována jako úhel, který svírá končetina v pracovní poloze vzhledem k neutrální poloze paže. Neutrální poloha je poloha končetiny volně visící podél těla.



KROK 1:	
NEPŘIJATELNÁ POLOHA	
Statická poloha	Nevhodná poloha paže (zpětné ohnutí paže, krajní zevní rotace, paže, zvednuté rameno). Vzpažení paže větší než 60°.
Dynamická poloha	Vzpažení paže větší než 60° při frekvenci pohybu větší nebo rovné 2/min. Zapažení při frekvenci pohybu větší nebo rovné 2/min.
PODMÍNĚNĚ PŘIJATELNÁ POLOHA	
Statická poloha	Vzpažení paže 40° - 60°, jestliže paže není podepřena (KROK 2 A).
Dynamická poloha	Vzpažení paže 40° - 60° při frekvenci pohybu větší nebo rovné 2/min (KROK 2 C, B). Zapažení při frekvenci pohybu menší než 2/min.
KROK 2:	
A Musí být dodržen maximálně přijatelný čas držení. B Není přijatelná při frekvenci pohybů $\geq 10/\text{min}$ . C Nepřijatelná, je-li stroj používán po dobu delší než polovinu pracovní směny.	